



**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO
ALTERNATIVA RURAL SOSTENIBLE DE LA VEREDA SAN ROQUE EN EL MUNICIPIO
DE ORTEGA-TOLIMA**

MARIO ALEJANDRO CELEMIN CUELLAR

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2016**

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO
ALTERNATIVA RURAL SOSTENIBLE DE LA VEREDA SAN ROQUE EN EL MUNICIPIO
DE ORTEGA-TOLIMA**

MARIO ALEJANDRO CELEMÍN CUELLAR

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director

**Walter Murillo Arango
PhD. Ciencias Químicas**

**Línea de Investigación:
Biosistemas Integrados**

**Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2016**

(Dedicatoria o lema)

*Gracias a Jehová, a mis Padres y a mi hija Sol
Valeria.*

AGRADECIMIENTOS

Dr. Walter Murillo Arango, Director del trabajo de investigación.

Dr. Jhon Fredy Betancur, Director de Línea Biosistemas Integrados.

Dr. Carlos Armando González Medrano, Presidente Ejecutivo de Energías Renovables de Colombia – ERC – TWSOLAR España.

Ing. Pablo Gonzalez, TWSOLAR España.

Ing. Jose Triana, Energías Renovables de Colombia – ERC.

Ing. Silvia Lopera Prada, Inversiones Seringueira.

RESUMEN

La implementación de las energías renovables no convencionales es una gran oportunidad para diversificar las fuentes de generación; la tendencia del consumo de energía va a incrementarse y necesariamente a su vez hay que reducir el impacto ambiental de esa utilización masiva de la energía. La energía fotovoltaica se postula como una alternativa válida desde el punto de vista social, económico y ambiental de cara a lograr un desarrollo sostenible, en las regiones no interconectadas sin dejar de lado las conectadas; esto sumado al escenario legal de la Ley 1715 del 2014 y colocando a Colombia en un potencial generador de energía, dadas las condiciones de su ubicación geográfica y entorno natural que favorecen a futuro que la energía consumida sea de origen renovable. La comunidad del sector energético estatal y privado asumirá el compromiso de la mano de la población en la protección del medio ambiente, mediante proyectos alternativos, implantación de sistemas de gestión y de la promoción de las fuentes de energías no convencionales. La inversión en la comunidad de zonas no interconectadas suplirá en mediano y largo plazo las necesidades de población más vulnerable como es la comunidad del municipio de Ortega (Tol); el ejercicio académico se limita a exponer una alternativa al sector rural, y como opción básica (FV), favorecer de manera paulatina y mejorar en parte las condiciones básicas en armonía con el medio ambiente en ambos sentidos con miras a mantener las futuras generaciones a través de un desarrollo sostenible.

Palabras clave: (Energías renovables, desarrollo sostenible, zonas no interconectadas, energía fotovoltaica, rural y ambiente)

ABSTRACT

The implementation of non-conventional renewable energy is a great opportunity to diversify sources of generation; the trend of energy consumption will increase and turn necessarily have to reduce the environmental impact of the massive use of energy. Photovoltaics is postulated as a valid alternative in terms of social, economic and environmental view to achieving sustainable development in the regions not interconnected without neglecting the connected, this added to the legal scene of Act 1715 of 2014 and placing Colombia in a power generating potential, given the conditions geographical location and natural environment that favor future energy consumed from renewable sources. The community of state and private energy sector will assume the commitment of the hand of the population in protecting the environment through alternative projects, implementation of management systems and the promotion of non-conventional energy sources. Investment in community areas not interconnected will supply in medium and long term needs of vulnerable populations such as the community in the municipality of Ortega (Tol); academic exercise merely states an alternative to the rural sector, and as a basic option (FV), favoring gradually and improve partly the basic conditions in harmony with the environment in both directions with a view to maintaining future generations through sustainable development.

Keywords: renewable energy, sustainable development, non-interconnected areas, photovoltaic, rural energy and environment

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
CONTENIDO	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS	XV
GLOSARIO	18
1. MARCO TEORICO.....	25
1.1 Aspectos generales de la energía	25
1.1.1 Concepto general de Energía	25
1.1.2 Fuentes convencionales	25
1.1.3 Fuentes no convencionales	26
1.1.4 Clasificación de las energías según su origen	27
1.2 Energía solar fotovoltaica	28
1.2.1 Inicios de la tecnología de la generación fotovoltaica	28
1.2.2 Conceptos y generalidades de energía solar	30
1.2.3 Criterios requeridos para el diseño de un sistema fotovoltaico. ...	32
1.2.4 Energía Solar Fotovoltaica Conectada a la Red (Parque fotovoltaico) 34	34
1.2.5 Energía Solar Fotovoltaica (Aislados y conectados a la red)	39
1.2.6 Contexto energético internacional.	42
1.2.7 Contexto energético nacional.	46
1.3 Disposiciones legales escenario Colombiano (Marco Normativo).....	50
1.4 Proyecto fotovoltaico beneficiado con los incentivos en Colombia.....	52
2. ESTADO DEL ARTE	54
2.1 Algunas experiencias en energía solar a nivel global y nacional	54
2.1.1 Proyectos en energía solar a nivel internacional.	54
2.1.2 Experiencias de energía solar a nivel nacional.	57
2.1.3 Balance general de proyectos de energía según UPME	59
2.2 Emisiones de gases de efecto invernadero en la generación eléctrica	62
2.2.1 Las energías renovables como aportantes a la mitigación del cambio climático. 63	63
2.2.2 Las ZNI y la gestión ambiental energética	65
3. METODOLOGÍA.....	67
3.1 Objetivos	67
3.2 Procedimiento.....	68

3.2.1	Área de influencia o región de estudio	68
3.2.2	Recurso solar	70
3.2.3	Para la simulación de un sistema fotovoltaico se toma de base los datos meteorológicos disponibles.....	71
3.2.4	Diseño del sistema	72
3.2.5	Evaluación del beneficio ambiental (CO ₂).....	75
3.2.6	Evaluación económica y aplicabilidad de beneficios ley 1715 del 2014 75	
4.	RESULTADOS	78
4.1	Resultados del análisis de Recurso primario (Irradiación)	78
4.2	Resultados del diseño del sistema FV.....	80
4.2.1	Valores de Consumos día y mes de energía eléctrica	80
4.2.2	Resumen de los resultados arrojados (PVSYST)	81
4.2.3	Pérdidas de producción de la instalación solar fotovoltaica	82
4.2.4	Esquema unifilar de acuerdo al dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	83
4.3	Resultados de la evaluación del beneficio ambiental (CO ₂).....	84
4.3.1	Resultados evaluación económica y aplicabilidad de beneficios ley 1715 del 2014	87
5.	CONCLUSIONES.....	90
6.	REFERENCIAS	92

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Clases de energías renovables	28
Figura 1-2: Mapa de irradiación solar global	31
Figura 1-3: Ejemplo Parque Fotovoltaico	35
Figura 1-4: Estructura base y seguidores parque solar	37
Figura 1-5: Inversor parque fotovoltaico.....	38
Figura 1-6: Sistema fotovoltaico aislado.....	40
Figura 1-7: Ejemplo sistema fotovoltaico conectado a red	42
Figura 1-8: Evolución de la capacidad global de FV instalada acumulada 2000-2013.....	44
Figura 1-9: Evolución de las instalaciones globales anuales 2000-2013	45
Figura 1-10: Explotación y producción nacionales de recursos energéticos primarios en el año 2012.....	47
Figura 1-11: Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012	47
Figura 1-12: Demanda doméstica de energía final por sector en el año 2012.....	48
Figura 1-13: Capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre de 2014.....	49
Figura 2-1: Distribución de Proyectos por tipo de energía producida	59
Figura 2-2: Registro histórico por tipo de proyecto	60
Figura 2-3: Ubicación proyectos registrados de plantas de energía fotovoltaicas en el país año 2016.....	61
Figura 3-1 Ubicación espacial de la Vereda San Roque	69
Figura 3-2: Mapa de Colombia (Radiación).....	70
Figura 3-3: Base de datos Meteorológicos disponibles	71
Figura 3-4: Evaluación de bases de datos meteorológicos	71
Figura 3-8: Vivienda modelo sin energía eléctrica convencional	74
Figura 3-5: Mapa de Radiancia del Municipio de Ortega.....	78
Figura 3-6: Requisitos básicos de información fiable.....	79
Figura 3-7: Irradiación solar de la zona	79
Figura 4-1: Consumos día y mes de energía eléctrica	80
Figura 4-2: Esquema Unifilar.....	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1. Algunos acontecimientos históricos en el desarrollo de la Tecnología Fotovoltaica	.29
Tabla 2-1 Evolución de los registros de los proyectos.....	61
Tabla 3-1: Cuadro de cargas de la instalación FV.....	73
Tabla 4-1: Resumen resultados dimensionamiento sistema fotovoltaico.....	81
Tabla 4-2: Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos...	85
Tabla 4-3: Balance Medio Ambiental.....	85
Tabla 4-4: Tabla de costos de sistema fotovoltaico Hipotético	87

GLOSARIO

- **Baterías:** Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.
- **Caja de Conexiones:** Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.
- **Célula Fotovoltaica:** Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.
- **Central Fotovoltaica:** Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.
- **Contador:** Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.
- **Controlador de Carga:** Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.
- **Convertidor Continuo - Continua:** elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.
- **Dimensionado:** Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.
- **Efecto Fotovoltaico:** Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.
- **Eficiencia:** En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.
- **Fotón:** Cada una de las partículas que componen la luz.
- **Fotovoltaico (FV):** Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.
- **Generador:** Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

- **Inclinación:** Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.
- **Inversor:** Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.
- **Kilovatio (kW):** Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.
- **Módulo o Panel Fotovoltaico:** Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.
- **Orientación:** Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.
- **Punto de máxima potencia de un Panel:** Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.
- **Radiación Solar:** Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.
- **Rendimiento:** Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.
- **Silicio:** Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.
- **Sistema Aislado o Remoto:** Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso.
- **Sistema Conectado a Red:** Sistema fotovoltaico en el que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red.
- **Vatio (W):** Unidad de potencia eléctrica, que equivale a un julio por segundo.
- **Vatio Pico:** Unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico en unas condiciones estándares de medida (STC).

- Voltaje: Anglicismo del término Tensión.
- Voltio (V): Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un coulomb, se realiza el trabajo de un julio.

INTRODUCCION

El integrar las energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional está impulsada entre otros factores por su contribución al desarrollo de sistemas energéticos sostenibles y a la seguridad del suministro y diversificación de las fuentes de energía primaria. Para nuestro caso los sistemas fotovoltaicos también llamados (PV) por sus siglas en inglés, ha venido constituyéndose en una alternativa muy interesante para lograr el aprovechamiento de los recursos renovables, y así reducir los efectos adversos en el medio ambiente producidos por los sistemas de potencia convencional. No obstante, aunque el concepto se ha desarrollado bastante en otros países, en Colombia su desarrollo es mínimo (Suarez R., 2010), por lo tanto es importante desarrollar trabajos que permitan dar conocer su funcionalidad y de esta forma abordar los problemas dando una solución práctica y amigable con el entorno. A pesar de los adelantos tecnológicos en el campo de la energía de origen renovable, todavía estamos sujetos a la utilización de los recursos energéticos fósiles que nos condicionan problemas, impactos al medio ambiente (efecto invernadero), provocado por las constantes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los clorofluorocarbonados (CFC), los cuales reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo.

Se aprobó en Colombia un marco legal para impulsar las energías renovables, la ley 1715 del 2014 “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”, sin embargo todavía aún quedan aspectos por desarrollar en relación a esta legislación, como por ejemplo no se ha aprobado todavía una regulación específica para las instalaciones de energías renovables de autoconsumo de generación distribuida; Colombia es un país en desarrollo, con deficiencias todavía en materia energética, que dispone de una amplia legislación medioambiental y se considera más necesario resolver los problemas relacionados con las demandas básicas de la población en el corto plazo, es decir, un país en que todo queda subordinado al objetivo inmediato de crecimiento (Angulo, 2010). Sin embargo el Gobierno nacional a través del Ministerio de Energía y Minas sigue apostando en desarrollo de proyectos a mediano y largo plazo adoptando el Plan de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica 2015-2029, el cual contempla un aumento de las energías renovables no

convencionales, en generación a partir de energía fotovoltaica se prevé en varios escenarios un objetivo de 239 megavatios.

El trabajo académico nace a raíz de una necesidad generalizada en el área rural (energía convencional nula) tanto para las actividades diarias de casa, como para las actividades agropecuarias (postcosecha). Dada esa necesidad para el gobierno nacional o el inversionista privado llevar la energía a lugares alejados, caso real donde hay cobertura, el servicio es deficiente y costoso; en general, se paga el doble del promedio del SIN por kWh en las Zonas No interconectadas y se recibe la mitad de horas de servicio; el 99% de las localidades tienen un servicio de menos de 6 horas al día; en promedio se paga 520,38 COP\$/kWh y el costo alcanza los 842,86 COP\$/kWh en Vaupés, y los 605,86 COP\$/kWh en Chocó (Florez, Tobón. y Castillo, 2009). Sumado a ello para llevar energía desde la cabecera municipal al perímetro de la misma; instalar una línea de tensión baja puede estar oscilando entre los \$35 a \$ 40 millones de pesos. (Triana, 2016), estos precios ya están tabulados según costos por kilómetro de redes eléctricas de media tensión de acuerdo a diseño y Resolución CREG 098 -2014. Colombia depende en un gran porcentaje de sus recursos hidroeléctricos (70,5%) con un riesgo constante de escasez y aumento en los precios de la energía (crisis energética generada por el fenómeno de El Niño en los años 1992 y 1993 y los altos precios de energía experimentados en 2009, 2010, 2013 y 2014), el aumento en Colombia en los precios de la electricidad, durante los últimos años se ha mantenido en bolsa con una tendencia constante al alza, llegando a precios cercanos a los 500 COP/kWh (UPME, 2015).

El realizar un estudio hipotético a nivel de energía no convencional (energía fotovoltaica) en un escenario rural aislado de la red no convencional, es el objeto principal del presente ejercicio académico. Para cumplir con el anterior objetivo general definimos unos objetivos específicos: Establecer las condiciones climáticas, técnicas a nivel de energía convencional mínimas para la implementación del sistema fotovoltaico sin suministro de energía convencional en la zona rural del Municipio de Ortega; realizar el diseño fotovoltaico estándar que aseguren el suministro de energía a una vivienda rural campesina y evaluar los beneficios ambientales y beneficios económicos que aplicaría el sistema fotovoltaico según Ley 1715 del 2014.

El documento académico cuenta un marco teórico, concentrando una base de conceptos teóricos, conceptuales y técnicos relacionados en materia de energía fotovoltaica, concluyendo este capítulo de manera objetiva según los beneficios de la ley 1715 del 2014 y demás disposiciones. Presenta un estado del arte de los sistemas fotovoltaicos a nivel nacional, dando a conocer de manera general algunas experiencias a nivel de implementación de este tipo de tecnología.

En la etapa metodológica se toma en cuenta información primaria que empezó a ser generada y todavía sigue actualizando la UPME desde el año 2014 presentada por PERS (Plan de energización rural sostenible) que son planes estructurados a partir de un análisis de los elementos regionales relevantes en materia de emprendimiento, productividad y energización rural que permiten identificar, formular y estructurar lineamientos y estrategias de desarrollo energético rural. En la página web <http://www.upme.gov.co/zni/> existe una base de datos expuesta al público, encontrado fuentes muy interesantes como: Encuestas PERS, resultados PERS, guía para la elaboración de PERS y encuesta residencial PERS y que de acuerdo a nuestro interés académico fue abordada e integrada también a la necesidad técnica del mismo. Hay que destacar que en función de dicha información a nivel de la región del departamento del Tolima se ubicó el Municipio de Ortega que presenta un cuadro o escenario interesante según PERS TOLIMA, arrojando un total de 7.826 viviendas (100%) de las cuales 6.850 (87,53%) cuentan con servicio de energía convencional y 976 (12,47%) no cuentan con dicho servicio, la idea es hacer un ejercicio netamente académico en donde podamos aplicar las variables, los conceptos técnicos, normativos básicos (ley 1715) y herramientas tecnológicas (software: PVSYST y Hoja de cálculo ERC-TWSOLAR) que sean necesarias bajo en el escenario rural y con los posibles beneficios ambientales y socioeconómicos que pueden aportar al involucrar las energías no convencionales en zonas no interconectadas y que tal vez sea una alternativa energética que podría mejorar en parte la calidad de vida de los habitantes, como en el aprovechamiento de la producción económica, fomento de las actividades lúdicas, disminución de la huella de carbono, etc.

Al final del documento se generan los resultados y unas conclusiones, dando relevancia al diseño del sistema fotovoltaico con una producción constante de 1956 kW/año cubriendo un consumo diario de 5359 Wh/día; evaluación de los beneficios ambientales, según el objeto general al

consumir energía eléctrica de generación limpia para desarrollar de manera progresiva, complementaria y paralela otros proyectos de desarrollo rural mejorando la calidad de vida de los habitantes del Municipio de Ortega – Tolima.

1. MARCO TEORICO

1.1 Aspectos generales de la energía

1.1.1 Concepto general de Energía

En una primera aproximación puede decirse que la energía es un ente físico que existe por doquier bajo muy distintas formas y constituye junto con la materia la base de todos los fenómenos que tienen lugar en el universo. La energía se presenta en muchas distintas formas o clases, muy diferentes entre sí, y tantas son que todavía hoy, aunque el conocimiento acumulado al respecto especialmente durante el siglo XX es maravilloso, algunas de ellas no han sido estudiadas y comprendidas en su totalidad. No es tampoco absolutamente seguro que no existan otras formas de energías distintas de las clasificadas hasta hoy, sobre todo porque ya se tienen indicios de que hay en el universo otras clases de materia distintas de las que conocemos (Pelino, 2009).

1.1.2 Fuentes convencionales

Las primeras plantas desarrolladas fueron hidroeléctricas y térmicas a carbón a finales del siglo XIX época cuando empezó el desarrollo de la generación de electricidad; al final se enfatizó en lo que hoy conocemos como fuentes convencionales de energía: energía hidroeléctrica y la termoeléctrica a partir de carbón, gas natural o derivados del petróleo utilizando combustibles fósiles mediante procesos térmicos. Estas fuentes de generación de electricidad que se mantuvieron por casi 100 años; para los años 70 la energía nuclear toma fuerza generando energía con el mismo principio de la generación térmica tradicional pero nuclear. Las centrales de unos pocos megavatios (MW) a grandes centrales de cientos y hasta miles de MW fue posible gracias a los avances en la ciencia y la tecnología permitiendo adicionalmente la transmisión y la distribución de energía en grandes cantidades, grandes distancias, alejadas de los usuarios y conectadas a sistemas de interconexión complejos.

Por el momento no hay un consenso serio sobre si la generación eléctrica a partir de agua es renovable o no; su desarrollo de más de un siglo y su participación como fuente de generación

eléctrica es considerada con una fuente convencional; sin embargo dado que el agua es un recurso renovable, hay que considerar que el agua es un recurso vital para el desarrollo humano y la necesidad de abastecimiento de un recurso limitado y adicionalmente con una alta demanda en todo el planeta. Por ello, cuando se si se trata el tema de generación eléctrica a partir del agua, la capacidad de las instalaciones de las grandes centrales hidroeléctricas son al igual generadoras de impactos en el medio ambiente.

1.1.3 Fuentes no convencionales

A pesar de que tuvo sus inicios casi a la par con las convencionales pero no fue prioridad en su momento, su necesidad se hizo verídica en la crisis energética que se inició en 1973 por la oferta de petróleo a tan bajo precio; esta crisis obligó a los países a reducir o posponer el desarrollo de los programas de desarrollo importantes, por lo que podía comprar petróleo para mantener sus economías en funcionamiento. Se planteó la urgente necesidad de encontrar y desarrollar fuentes de energía alternativas, como otros combustibles fósiles (carbón, gas), energía nuclear y fuentes de energía renovables (OEA, 1987).

Son fuentes primarias inagotables con capacidad de regeneración en un periodo de tiempo inferior al de su uso. En general todas las fuentes provenientes directa o indirectamente del sol son consideradas renovables. Adicionalmente se clasifican como fuentes renovables el calor proveniente de la tierra y las mareas ocasionadas por la atracción gravitacional entre la Tierra y la Luna. Algunos de los principales inconvenientes de la explotación a gran escala de las energías renovables o en cantidades suficientes para desplazar energías convencionales radican en que su disponibilidad está sujeta a la geografía: recursos como el viento, el agua o el sol tienen altos potenciales de explotación en sitios específicos. Existe además una gran variabilidad en el recurso, esto es particularmente cierto para la energía eólica, solar e hidráulica sin embalse, cuya capacidad de generación está asociada directamente a la disponibilidad del recurso y este puede presentar grandes variaciones de una hora a otra o entre el día y la noche (FEDESARROLLO, 2013).

1.1.4 Clasificación de las energías según su origen

De acuerdo a la Unidad de planeación minero energética las fuentes de energías convencionales y no convencionales¹ se pueden clasificar de acuerdo a su uso:

Fuentes Convencionales (FC): Las fuentes convencionales de energía se encuentran conformadas por dos grupos que son:

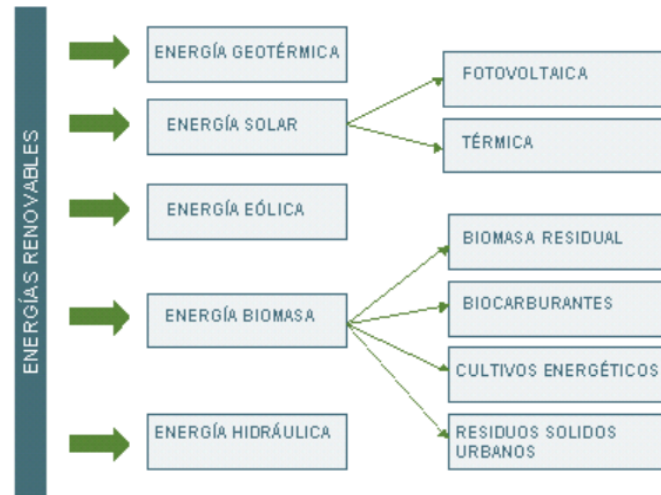
- Combustibles fósiles (Carbón, Petróleo y gas), utilizados como fuente de calor y electricidad:
- Hidráulica, generadora de fuerza motriz y electricidad.

En sus diferentes fases de exploración, explotación, construcción y suministro, estas fuentes generan alto impacto, implicando grandes impactos a nivel social, ambiental y económico.

Fuentes No Convencionales (FNCE): Las energías no convencionales o también denominadas energías alternativas son denominadas de dicha manera porque van orientadas a plantearse como una opción alternativa a las energías convencionales o tradicionales. Estas energías son las equivalentes a la denominación de energías renovables o energía verde, por su menor impacto medioambiental, pero otra definición más amplia las cataloga como las fuentes de energías que no aplican la quema de combustibles fósiles de ningún tipo. Estas están conformadas por: solar, eólica, pequeñas centrales Hidroeléctricas (PCH's), biomasa, geotérmica, mareomotriz y nuclear (Ver figura 1-1).

¹ Se entiende por Energía Convencional aquellas que son de uso cotidiano para producir energía eléctrica y por No Convencionales aquellas que no son muy comunes en el mundo y cuyo uso es muy limitado debido a costos de producción, difícil captación y transformación en energía eléctrica. Energías No Renovables se define como aquellas que se encuentran en depósitos y cuyo consumo genera el agotamiento de las reservas. Las Energías Renovables son aquellas que, aprovechando los caudales naturales de energía del planeta, constituyen una fuente inagotable de flujo energético, renovándose constantemente que no generan residuos como consecuencia directa de su utilización. (UPME, 2015)

Figura 1-1: Clases de energías renovables



Fuente: (UPME, 2015)

En los últimos años las energías renovables han experimentado un fuerte crecimiento, destacando la energía fotovoltaica y la eólica. Puede liberarnos de la dependencia de energías contaminantes de origen fósil y nuclear convirtiéndose en la alternativa del futuro frente a las energías actuales y antes mencionadas ya que su impacto medioambiental es mínimo. Las fuentes de energía renovables representan a su vez inmensos potenciales energéticos para ser aprovechados de una manera costo-efectiva en la medida en que su investigación, su desarrollo y el despliegue comercial de las tecnologías asociadas continúen avanzando como ha venido sucediendo en los últimos 40 años. (UPME, 2015)

1.2 Energía solar fotovoltaica

1.2.1 Inicios de la tecnología de la generación fotovoltaica

Sus inicios datan del siglo XIX, (Galdabini, 1991) dicen que el físico francés Edmond Becquerel (1839) evidenció su descubrimiento del efecto fotovoltaico al observar que ciertos materiales producían cantidades pequeñas de corriente eléctrica cuando se exponían a la luz, “observó que por la acción de un rayo de luz del sol sobre dos líquidos diferentes, que interactúan químicamente y cuidadosamente superpuestas en un recipiente de vidrio, una corriente eléctrica

se desarrolló, como se indica por un galvanómetro muy sensible conectada con dos placas de platino sumergiendo en las dos soluciones diferentes” (Becquerel, 1867).

Este sería el punto de partida el cual encaminaría el sendero para desarrollo de la tecnología de la energía fotovoltaica, según Asociación de la Industria Fotovoltaica (Asif, 2008) de manera general, referencia algunos acontecimientos importantes en la historia de la tecnología:

Tabla 1-1. Algunos acontecimientos históricos en el desarrollo de la Tecnología Fotovoltaica

Año	Acontecimiento
1873	Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio.
1877	W.G.Adams y R.E.Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.
1904	Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, al mismo tiempo que un artículo sobre la teoría de la relatividad 1921 Einstein gana el premio Nobel de 1921 por sus teorías de 1904 explicando el efecto fotovoltaico (“for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect”). Recibe el premio y lee el discurso en Gotemburgo- Suecia, en 1923)
1954	Los investigadores D.M.Chaplin, C.S. Fuller y G.L.Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula de silicio, publican en el artículo “A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power”, y hacen su presentación oficial en Washington (26 abril).
1955	Se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Hoffman Electronic, empresa de Illinois (EE.UU.) ofrece células del 3% de 14mW a 1.500 \$/Wp).
1957	Hoffman Electronic alcanza el 8 % de rendimiento en sus células.
1958	El 17 de marzo se lanza el Vanguard I, primer satélite alimentado con energía solar. El satélite lleva 0,1W superficie aproximada de 100 cm ² , para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética, muestra en la exposición Universal de Bruselas sus células con tecnología de silicio.
1959	Hoffman Electronic alcanza el 10 % de rendimiento en sus células comerciales.
1962	Se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14W.

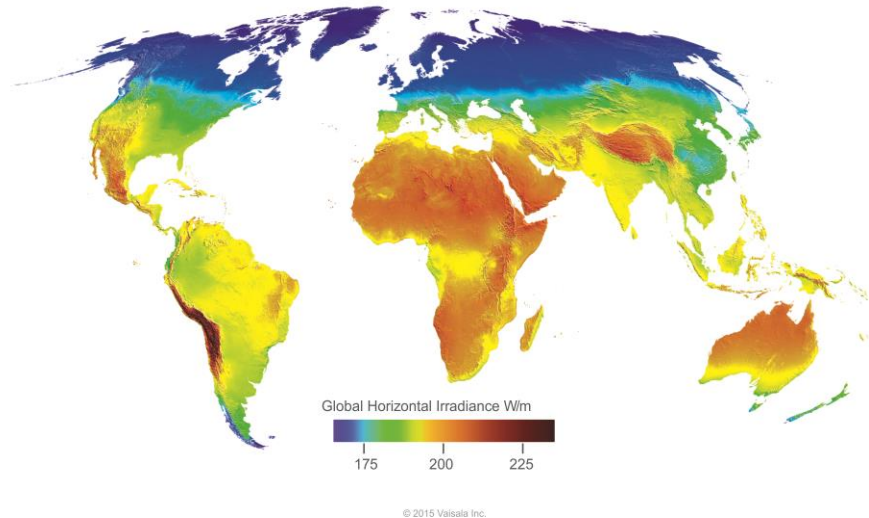
1963	Sharp consigue una forma práctica de producir módulos de silicio; en Japón se instala un sistema de 242W en un faro, el más grande en aquellos tiempos.
1964	El navío espacial Nimbus se lanza con 470W de paneles fotovoltaicos.
1966	El observatorio astronómico espacial lleva 1kW de paneles solares.
1973	La producción mundial de células es 100 kW. El Skylab lleva 20kW de paneles.
1975	Las aplicaciones terrestres superan a las aplicaciones espaciales.
1977	La producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW.
1980	ARCO Solar es la primera empresa que alcanzó, una fabricación industrial de 1 MW de módulos al año.
1983	La producción mundial excede los 20 MW al año.
1994	Se celebra la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawai.
1998	Se alcanza un total de 1.000 MW de sistemas fotovoltaicos instalados.
2004-2014	Según REN 21 (2015) da a conocer que la energía solar FV registró un crecimiento anual, con un estimado de 40 GW instalados, lo que da una capacidad mundial total de cerca de 117 GW a 2014.
2015	Nuevo panel solar puede producir energía por alrededor de \$ 0,55 USD por vatio, según Elon Musk solar Solar City venture, pueden alcanzar una eficiencia 22,5%, superando ligeramente la eficiencia del 21,5% alcanzado por el líder anterior, SunPower (www.extremetech.com , 2015).

1.2.2 Conceptos y generalidades de energía solar

La Tierra recibe 174 petavattios² de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30 % regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante (Figura 1-2). El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre lo ocupa principalmente la luz visible y los rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta (Smil, 1991, pág. 240).

² Un petavatio (PW) son 10¹⁵ vatios o, lo que es lo mismo, mil teravattios o mil billones (1 000 000 000 000 000) de vatios. Un petavatio equivale a unas 30 000 veces la demanda de potencia eléctrica media en toda España.

Figura 1-2: Mapa de irradiación solar global



Fuente: (Vaisala, 2015)

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 Watt/m² (cantidad de energía calórica por unidad de área) en la superficie terrestre. Esta potencia se denomina irradiación. Nótese que en términos globales prácticamente toda la radiación recibida es reemitida al espacio (de lo contrario se produciría un calentamiento abrupto). Sin embargo, existe una diferencia notable entre la radiación recibida y la emitida (Vaisala, 2015).

La radiación es aprovechable en sus componentes directos y difusos, o en la suma de ambos. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La bóveda celeste diurna emite la radiación difusa debido a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones (Smil, 1991).

La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de solar y tiene un valor medio de 1366 W/m² (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m² y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m²) (Vaisala, 2015).

En este orden de ideas el aprovechamiento del recurso de irradiación directa para la generación de electricidad tiene un mejor rendimiento en los lugares donde la concentración de radiación de luz emitida por el sol, presenta condiciones de mayor constancia, sin dejar de lado su magnitud. Las zonas costeras y pertenecientes a los trópicos presentan las condiciones ideales de implementación de este recurso, sin embargo es imperioso, teniendo en cuenta el principio de funcionamiento de los paneles solares, evitar la obstrucción de luz por contaminación, lo que genera entonces la necesidad de implementar en lugares donde el nivel de polución y contaminación no sean muy elevados (Smil, 1991).

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina (Fonroche, 2015).

Las superficies (paneles solares) son células formadas por una a o varias láminas de materiales semiconductores, en la mayoría de los casos silicio, y recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas. Las células se agrupan en módulos para su integración en sistemas fotovoltaicos. Los módulos tienen una vida estimada de 30 años y su rendimiento después de 25 años está por encima del 80% y aun así, se continúa investigando para incrementar su eficiencia (Sunedison, 2015).

Cuándo más intensa sea la luz solar, mayor será el flujo de electricidad. No siendo necesario un flujo de luz directa, la electricidad se produce incluso en días nublados al amanecer y al anochecer. Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua y se convierten a corriente alterna a por medio de un dispositivo eléctrico llamado “inversor”. Posteriormente la energía eléctrica producida pasa por un “centro de transformación” se adapta la electricidad a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte para su consumo.

1.2.3 Criterios requeridos para el diseño de un sistema fotovoltaico.

El diseño de los sistemas fotovoltaicos según el IEEE, debe tener ciertas características que permitan garantizar su calidad o que permitan su uso para la aplicación para la cual se diseñó (Suarez R., 2010).

Los sistemas fotovoltaicos deben cumplir su función principal y garantizar la seguridad de las personas y el buen funcionamiento del sistema, es decir el sistema debe ser capaz de tomar los rayos solares incidentes y convertirlos en energía eléctrica para luego entregarla a las cargas destinadas asegurando ciertas condiciones de funcionamiento de acuerdo al medio local donde se implemente y la seguridad de la población alrededor del mismo (Suarez R., 2010).

Para cumplir con lo anterior, el sistema debe integrar varios subsistemas que sean capaces de garantizar la compatibilidad del sistema tanto con las características de la energía solar disponible, como con las cargas conectadas y no conectadas a la red de suministro; los cuales se detallan en los siguientes numerales (Suarez R., 2010).

- Configuraciones de sistemas de generación. Aislado (fuera de red): sistema de generación cuya potencia es del orden de W, generalmente se implementa para suplir la demanda energética de una vivienda.
- Mini red: sistema de generación cuya potencia es del orden de 103 a 105 W, generalmente se implementa para suplir la demanda de un conjunto de viviendas o pequeño centro poblado, eléctricamente conectados por una red pequeña o local.
- Conectado a red: sistema de generación cuya potencia es del orden de MW (106 W), se implementa para generar energía que es entregada a la red de distribución eléctrica (Ej. Energía entregada al SIN).

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en dos tipos según Fernández (2008), independientemente de su aplicación y de la capacidad de potencia a la que se diseñen. El IEEE (1991) presenta una clasificación más grande para los sistemas fotovoltaicos, la cual se basa en la aplicación y la capacidad del sistema siendo dicha clasificación compuesta por dos grandes tipos de sistemas y dividida en subsistemas.

- **Sistemas Aislados (“Stand Alone”):** Estos sistemas fotovoltaicos son capaces de satisfacer completamente los requerimientos de la carga sin conexión a la red. Se utilizan, generalmente, en zonas rurales alejadas de la red de suministro, en casas, equipos de telecomunicaciones y en otras aplicaciones que presentan consumos muy bajos de energía (IEEE, 1991).
- **Conectados a la Red (“Electrical Utility Connected Systems):** Hace referencia a todos los sistemas fotovoltaicos que tienen conexión a la red y que pueden estar ubicados en zonas residenciales, comerciales o industriales. Dichos sistemas pueden ser de tamaño pequeño, medio o de gran tamaño. En los dos primeros, se tienen flujos bidireccionales de potencia, mientras en los de gran tamaño el sistema fotovoltaico solo inyecta potencia a la red.

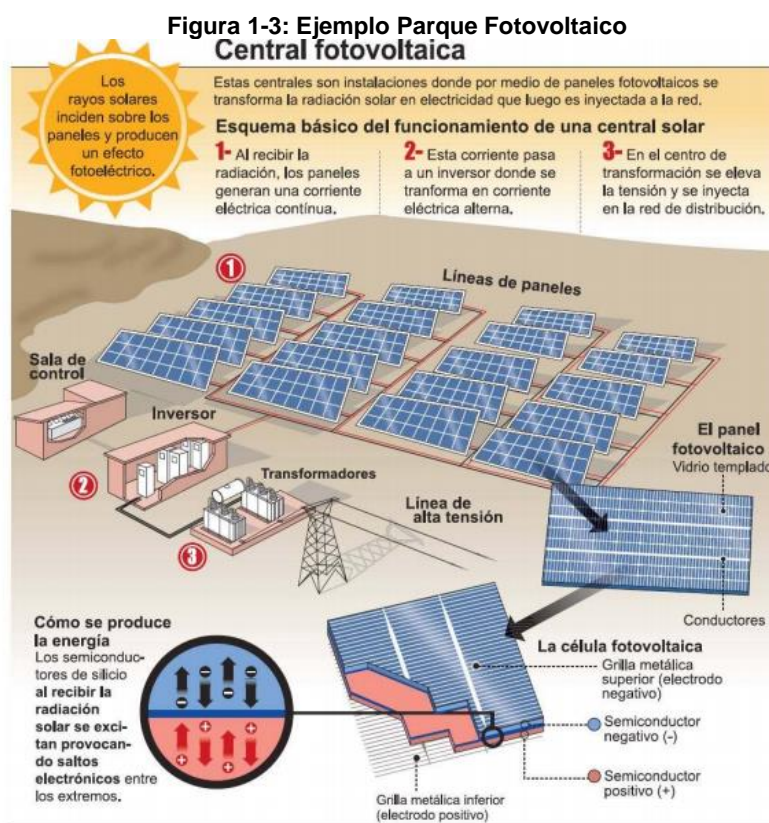
1.2.4 Energía Solar Fotovoltaica Conectada a la Red (Parque fotovoltaico)

Generalidades: Una instalación fotovoltaica es comparable a una pequeña central de producción eléctrica respetuosa con el medio ambiente, y no contaminante, que inyecta la corriente producida a la red eléctrica (Figura 1-3). De manera simple, una instalación solar fotovoltaica conectada a la red tiene los siguientes componentes:

- Generador fotovoltaico
- Estructura de soporte del campo fotovoltaico
- Convertidor (ondulador)
- Contador de energía y protecciones de interconexión
- Centro de transformación

El generador fotovoltaico está formado por un conjunto de módulos, instalados sobre estructuras metálicas. Los convertidores (onduladores/inversores/inverters) se instalan de forma modular. Se alimentan desde los módulos fotovoltaicos y se conectan a la red para inyectar directamente esta

energía generada, sin ningún tipo de acumulación. El inversor se encargara de transformar la electricidad producida por los módulos en corriente directa en corriente alterna apta para ser inyectada a la red. La electricidad se produce a baja tensión. Para inyectarla a la red, es necesario elevar la tensión, según los requerimientos de la línea de conexión. Por este motivo es necesario incorporar un transformador al sistema. La generación de electricidad se mide mediante contadores bidireccionales de producción y autoconsumo. El autoconsumo es muy bajo gracias al régimen de switch-off de los convertidores durante la noche.



Fuente: (Twsolar, 2014)

Funcionamiento de la planta fotovoltaica Durante las horas diurnas, la planta fotovoltaica generará energía eléctrica, en una cantidad casi proporcional a la radiación solar existente en el plano del campo fotovoltaico. La energía generada por el campo fotovoltaico, en corriente continua, es inyectada en sincronía a la red de distribución de la compañía eléctrica, primero a través de los inversores y luego a través de los transformadores y red MT. Esta energía es

contabilizada y vendida a la compañía eléctrica de acuerdo con el contrato de compra-venta previamente establecido con ésta.

Durante las noches el inversor deja de inyectar energía a la red y se mantiene en estado de “stand-by” con el objetivo de minimizar el auto-consumo de la planta. En cuanto sale el sol y la planta puede generar suficiente energía, la unidad de control y regulación comienza con la supervisión de la tensión y frecuencia de red, iniciando la generación si los valores son correctos.

Una planta fotovoltaica se compone de los siguientes elementos (Twsolar, 2014):

- **Estructura de soporte fijo o con seguidor a un eje:** Las placas deben instalarse sobre un soporte que tiene la función de mantenerlas en una posición correcta, fijar el conjunto a una estructura sólida y garantizar la integridad de las placas a pesar de la acción del viento (resistencia a vientos de 100 a 150 km/h), la corrosión, los cambios de temperatura, el hielo, las granizadas y el vandalismo o el robo. En caso de ser metanólico debe tener una conexión a tierra, junto con el marco de las placas fotovoltaicas. Los seguidores solares son sistemas de apoyo capaces de seguir el sol de levante a ponente. Tienen la ventaja de aumentar el número de horas de sol aprovechables por las placas, respecto a unas placas fijas (Figura 1-4). El uso de seguidores a uno o dos ejes permiten aumentar considerablemente la producción solar, en torno al 30% para los primeros y un 6% adicional para los segundos, en lugares de elevada radiación directa. Los seguidores solares son bastante comunes en aplicaciones fotovoltaicas.

Figura 1-4: Estructura base y seguidores parque solar



Fuente: (Fonroche, 2015)

- **Módulos fotovoltaicos:** Los módulos fotovoltaicos son los encargados de captar la energía del sol y convertirla en energía eléctrica aprovechable. Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son: radiación de 1000 W/m², temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

Los paneles fotovoltaicos, en función del tipo de célula que los forman, se dividen en: Cristalinas, Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada); policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas y amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

- **Equipos conversores CA/CC de energía (inversores):** La función de un inversor es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. En el caso de las instalaciones fotovoltaicas es el encargado de transformar la electricidad en corriente directa procedente de los paneles en corriente alterna apta para ser inyectada en la red o consumida directamente (Figura 1-5 El inversor tiene ventilación forzada ya que se produce un aumento de temperatura propio de la electrónica de potencia del sistema y la temperatura ambiente).

Figura 1-5: Inversor parque fotovoltaico.

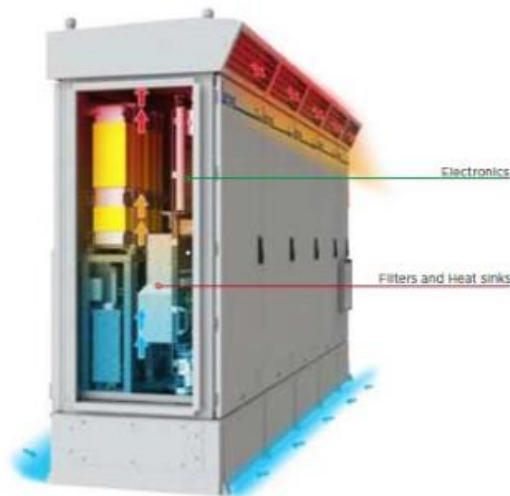


Imagen de inversor centralizado intemperie facilitada por Power-Electronics

Fuente: (Fonroche, 2015)

- **Transformadores:** Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores. La función del transformador será elevar la tensión de salida del inversor a la tensión de la red donde se conecta la instalación fotovoltaica.

- **Subsistemas complementarios:** cuadro de interconexión, conducciones, protecciones eléctricas, monitorización...etc., la instalación eléctrica según la normativa vigente, y en todo momento su diseño tiene en cuenta el disminuir las pérdidas de generación al mínimo recomendable.

1.2.5 Energía Solar Fotovoltaica (Aislados y conectados a la red)

Sistemas aislados (Figura 1-6): Es un dispositivo que genera energía eléctrica mediante el efecto Fotoeléctrico; los fotones (partículas de luz) que provienen de la radiación solar, inciden en los módulos fotovoltaicos y liberan electrones, los cuales generan una corriente DC³. Se caracterizan por su sencillez, modularidad y operatividad (Twsolar, 2014).

Los Componentes principales de los Sistemas fotovoltaicos aislados son:

- **Módulo fotovoltaico:** componente en donde se transforma la energía de la radiación solar (energía de los fotones) en energía eléctrica; están contruidos con determinados semicondutores basados principalmente en silicio monocristalino y policristalino. Los módulos fotovoltaicos tienen una potencia nominal, el Vatio Pico (Wp); que corresponde a la potencia máxima que puede generar dicho módulo, a 25°C de temperatura y con una irradiancia de 1kW/m². Su producción de corriente eléctrica a un voltaje dado (fijo para el panel) varía con la temperatura, lo cual especifica el fabricante del panel en la forma de curvas de potencia.
- **Regulador de Carga:** Es el dispositivo encargado de proteger la batería contra sobredescargas y controlar la carga de esta. Cuando el regulador detecta que la batería

³ La corriente continua (CC en español, en inglés DC, de Direct Current) se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, que no cambia de sentido con el tiempo. A diferencia de la corriente alterna (CA en español, AC en inglés, de Alternating Current), en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección. Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con una corriente constante, es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad, así disminuya su intensidad conforme se va consumiendo la carga (por ejemplo cuando se descarga una batería eléctrica). También se dice corriente continua cuando los electrones se mueven siempre en el mismo sentido, el flujo se denomina corriente continua y va (por convenio) del polo positivo al negativo. Electrotecnia, ciclos formativos - Peter Bastián.

está siendo sobrecargada, desconecta el generador FV y cuando detecta que la batería está siendo sobredescargada, desconecta los consumos.

- **Batería o banco de baterías.** Son necesarias para almacenar la energía producida por los módulos solares, y la energía producida en las horas del día y almacenada en la batería se puede utilizar en las horas de la noche. Los sistemas conectados a la red no necesitan de baterías.
- **Carga:** consumos o cargas que el sistema debe satisfacer (demanda energética), puede ser DC o AC. Los consumos o cargas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer (iluminación, radio, TV, bombas, etc.), pueden ser DC o AC. Se considera a los consumos como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño del mismo.



Fuente: (Amaericafotovoltaica, 2016)

- **Sistemas con conexión a red:** Las instalaciones solares fotovoltaicas de conexión en paralelo a la red tienen la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica local. En práctica, durante las horas de luz solar el usuario consume de forma instantánea la energía solar producida por su propias instalaciones, mientras que cuando no hay luz solar o ésta no es suficiente, o si el usuario requiere más energía eléctrica de la que la

planta solar está en grado de proveer, será la red eléctrica la que garantizará el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria.

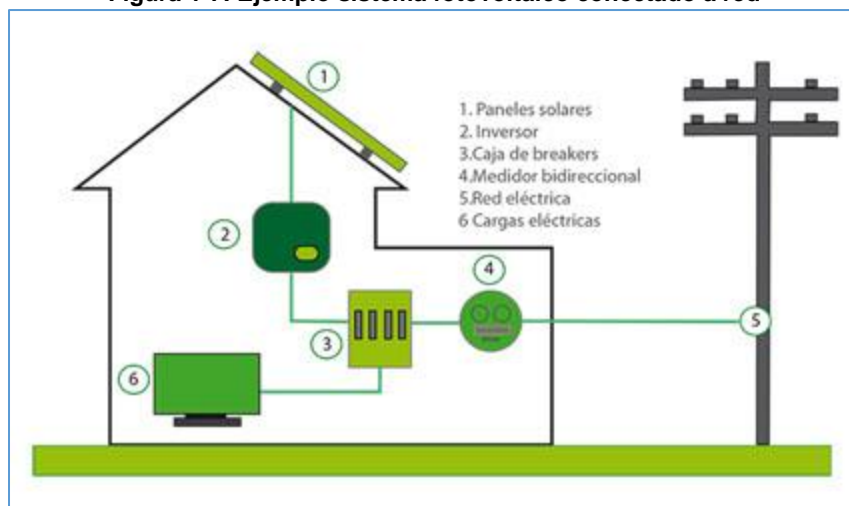
Por otro lado, si ocurre que la instalación solar produce más energía que aquella requerida por el usuario, esa energía solar no utilizada puede ser cedida a la red. En este caso se habla de transferencia del "excedente" a la red eléctrica local.

El autoconsumo fotovoltaico en paralelo a red puede suponer para el usuario final, un balance coste cero de energía para su vivienda o empresa, con el consiguiente ahorro en la factura de la energía.

La configuración básica de una planta solar fotovoltaica conectada en paralelo a la red eléctrica convencional consiste en: el generador fotovoltaico constituido por los varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos que los unen, los equipos eléctricos y los elementos de soporte y fijación; los inversores que son equipos electrónicos capaces de transformar la energía eléctrica proveniente del generador fotovoltaico de corriente continua en alterna, con niveles de tensión y frecuencia adecuada para operar en paralelo con la red eléctrica convencional y para ser utilizada por aparatos de consumo, electrodomésticos y/o equipos de instalaciones en general.

El sistema residencial (Figura 1-7) aprovecha el sol para generar energía eléctrica, por medio de celdas solares que convierten las radiaciones solares en energía eléctrica. No requieren una instalación nueva, los paneles solares entregan a través de un convertidor la energía en su entrada de electricidad convencional (gpodelaconcha.com.mx, 2014).

Figura 1-7: Ejemplo sistema fotovoltaico conectado a red



Fuente: (gpodelaconcha.com.mx, 2014)

1.2.6 Contexto energético internacional.

Aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables. Actualmente, estas últimas se encuentran asociadas principalmente con el uso tradicional de la biomasa en aplicaciones como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios, y la hidroenergía para generación eléctrica. En una menor medida, se aprovecha la energía proveniente de fuentes como el sol, la geotermia y la biomasa para su conversión en energía térmica a través del uso de tecnologías relativamente modernas, seguidas de estas y otras fuentes como la eólica para la generación de energía eléctrica. Finalmente, se suman al aprovechamiento de fuentes renovables el uso de biocombustibles en el sector transporte y tecnologías en etapas incipientes de desarrollo como es el caso de la energía de los mares en forma de mareas, oleaje, gradientes térmicos o gradientes salínicos (REN21, 2014; UPME, 2015).

La dependencia mundial en el petróleo, el carbón, el gas natural y aun en los combustibles nucleares, como recursos fósiles disponibles en cantidades que pueden ser consideradas relativamente abundantes pero finitas, y las coyunturas económicas y geopolíticas asociadas, con su distribución geográfica y su dominio, han generado en muchos países la necesidad de iniciar una transición hacia el uso de recursos energéticos de carácter renovable, que a su vez

contribuyan a la reducción de emisiones de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático que viene experimentando el planeta (UPME, 2015).

En tal contexto, China, Alemania, España, y Estados Unidos, se consolidan hoy en día como países pioneros en el desarrollo de las mayores capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de las biomásas, como fuentes de origen renovable que hacen su aporte en el proceso de transición planteado en lo que a la generación de energía eléctrica se refiere (UPME, 2015).

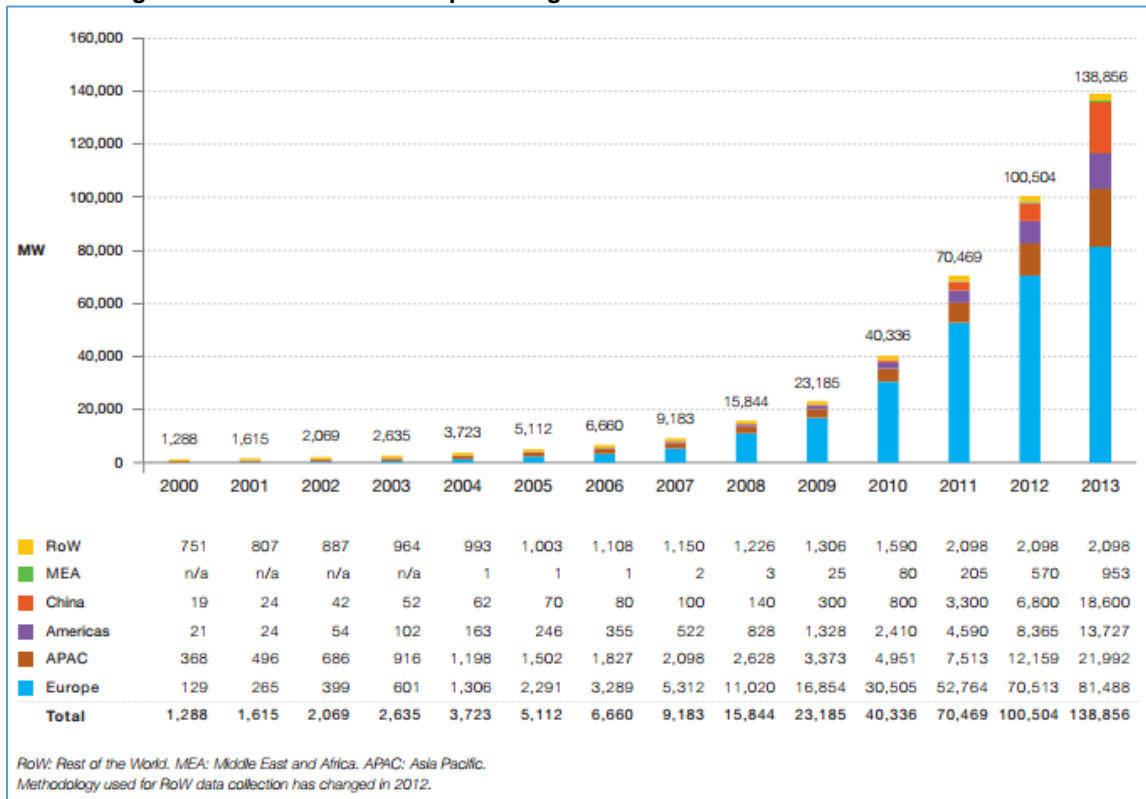
Entre tanto, países como Estados Unidos, Brasil y Alemania lideran la utilización de bioenergía en el sector transporte (REN21, 2014), en tanto que Estados Unidos, Noruega, China, Japón y la Comunidad Europea lideran la utilización de electricidad (en parte producida a partir de fuentes renovables) en ese mismo sector (Ecomento, 2014; Comisión Europea, 2012) y otros países como China, Estados Unidos y Turquía lideran el aprovechamiento de energía térmica en forma de calor útil a partir de la energía solar y la energía geotérmica (UPME, 2015).

El panorama global fotovoltaico (FV) Capacidad mundial instalada en la última década, ha demostrado el potencial de convertirse en una importante fuente de generación de energía para el mundo con un crecimiento sólido y continuo incluso durante tiempos de la crisis financiera y económica. Se espera que el crecimiento continúe en los próximos años como la conciencia mundial sobre las ventajas de los incrementos de FV (EPIA, 2014).

A finales de 2009, la capacidad fotovoltaica instalada acumulada en el mundo era más de 23 GW. Un año después que era de 40,3 GW y al final de 2011 era de 70,5 GW. En 2012, se llegó a la marca de 100 GW y en 2013, casi 138,9 GW de PV se había instalado a nivel mundial -un cantidad capaz de producir al menos 160 megavatios hora (TWh) de electricidad cada año. Este volumen de energía es suficiente para cubrir las necesidades de suministro de energía anuales de más de 45 millones de hogares europeos. Este es también el equivalente de la electricidad producida por 32 grandes centrales eléctricas de carbón. La capacidad instalada acumulada global podría incluso han llegado a 140 GW en 2013 si el 1,1 GW adicionales en China se han tenido en cuenta (EPIA, 2014).

FV es ahora, después de energía hidráulica y eólica, la tercera energía renovable más importante en términos de la capacidad instalada a nivel mundial. Europa sigue siendo la región más importante del mundo en términos de capacidad instalada acumulada, con 81,5 GW a partir de 2013. Esto representa aproximadamente el 59% de la capacidad fotovoltaica acumulada del mundo (figura 1-8), por debajo del 70% en 2012 y aproximadamente el 75% de la capacidad del mundo en 2011. Los países de Asia Pacífico están creciendo rápidamente, con 40,6 GW ya está instalado. A continuación en el ranking son el (13,7 GW) de Estados Unidos (EPIA, 2014).

Figura 1-8: Evolución de la capacidad global de FV instalada acumulada 2000-2013



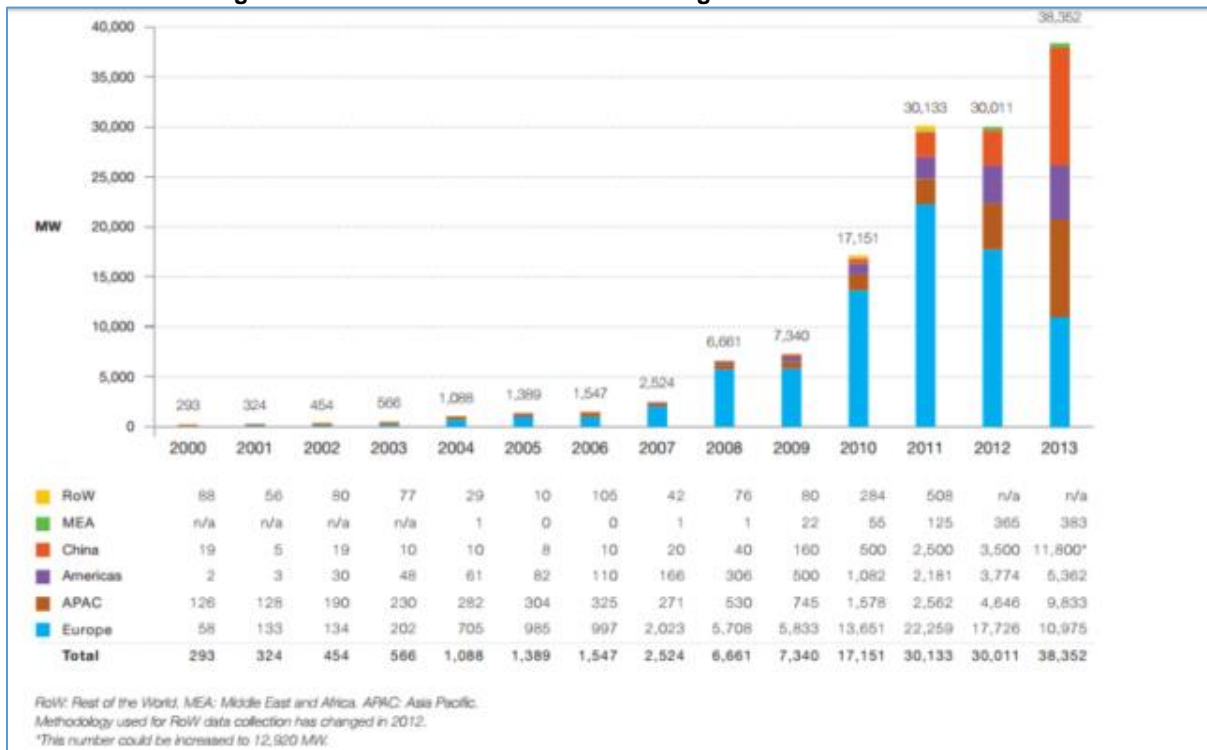
Fuente (EPIA, 2014)

Muchos de los mercados fuera de la UE en particular, los EE.UU. o la India han aprovechado sólo una muy pequeña parte de su enorme potencial. En 2013, los países asiáticos tomaron la iniciativa y comenzaron a desarrollarse más rápidamente que mercados europeos tradicionales. Varios países de grandes regiones como África, Oriente Medio, Sudeste de Asia y América Latina están a punto de comenzar su desarrollo. El acumulado capacidad instalada fuera de Europa

casi se duplicó de 30 GW a partir de 2012 a cerca de 60 GW en 2013, lo que demuestra el desequilibrio en curso entre Europa y el resto del mundo y más que refleja exactamente la disposición de consumo de electricidad (EPIA, 2014).

El desarrollo del mercado mundial fotovoltaico: El mercado fotovoltaico mundial progresó en 2013: después de dos años de alrededor de 30 GW de instalaciones cada año, la mercado alcanzó más de 38 GW en 2013, estableciendo un nuevo récord mundial (Figura 1-9).

Figura 1-9: Evolución de las instalaciones globales anuales 2000-2013



Fuente: (EPIA, 2014)

Pero el hecho más importante a partir de 2013 se produce un rápido desarrollo de la energía fotovoltaica en Asia combinada con una fuerte caída de las instalaciones en Europa. Este registro podría haber sido aún mayor. De hecho, casi 40 GW se han instalado en 2013 si tenemos en cuenta el 1,1 GW más instalado por China.

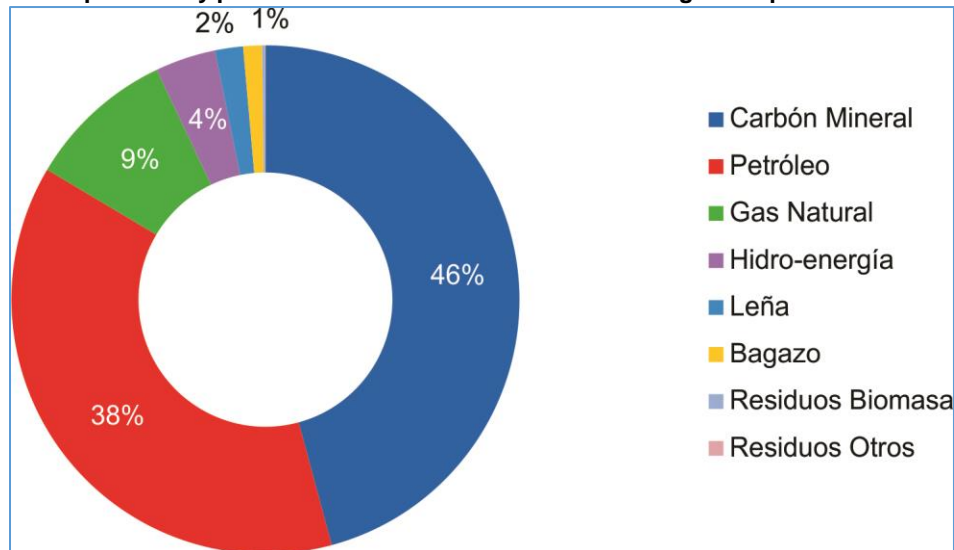
De acuerdo con la EPIA (2014), después de mantener la posición de mercado superior FV del mundo siete veces en los últimos 14 años, Alemania fue Sólo el cuarto lugar en 2013, con 3,3 GW, y sin embargo sigue siendo, con mucho, el mayor mercado europeo. El Reino Unido fue el segundo mercado europeo con 1,5 GW. Italia, que fue el segundo mercado europeo en 2012, instalado más de 1,4 GW en 2013, por debajo del 3,6 GW en el año anterior y 9,3 GW en 2011. Otro Europea países que instalaron más de 1 GW son Rumania (alrededor de 1,1 GW) y Grecia (1,04 GW). Juntos, China, Japón, EE.UU., Alemania y el Reino Unido representaron casi el 28,3 GW, o tres cuartos del mercado global en el último año. Esto es aún más alto que en 2012, cuando el conjunto entre los cinco mercados globales representaron en torno al 65%. A nivel regional, la región de Asia y el Pacífico (APAC), que además de China y Japón incluye a Corea, Australia, Taiwán y Tailandia, obtuvieron el primer lugar en 2013, con cerca de 56% del mercado mundial fotovoltaico.

Europa quedó en segundo lugar con casi 11 GW de 38,4 GW o 29%. La tercera región líder es del Norte América, con Canadá constante desarrollo junto con el EE.UU. En otros lugares, el Oriente Medio y el Norte África (MENA) representa un potencial sin explotar para el mediano plazo. FV también muestra un gran potencial en América del Sur y África, donde la demanda de electricidad crecerá significativamente en los próximos años y numerosos proyectos que han comenzado y conducirán a las instalaciones en 2014 y años posteriores (EPIA, 2014).

1.2.7 Contexto energético nacional.

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos (Figura 1 - 10) (UPME, 2015).

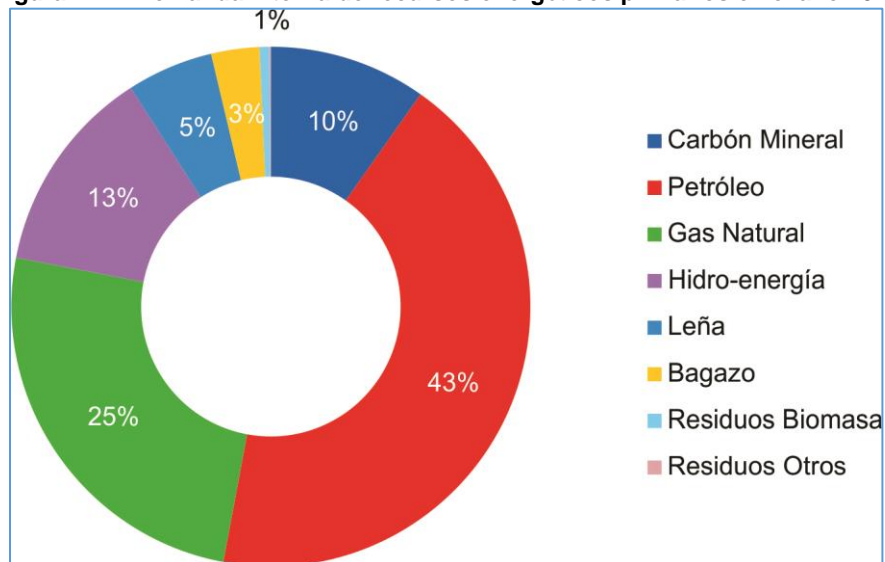
Figura 1-10: Explotación y producción nacionales de recursos energéticos primarios en el año 2012



Fuente: (UPME, 2015)

De esa explotación primaria, el país exporta aproximadamente un 69%, principalmente en forma de carbón mineral (aprox. el 94% del producido, representando el 62% de las exportaciones energéticas) y petróleo (aprox. el 66% del producido, representando el 36% de las exportaciones energéticas), y utiliza un 31% del cual, cerca del 78% corresponde a recursos fósiles y el 22% a recursos renovables (Figura 1-11) (UPME, 2015).

Figura 1-11: Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012

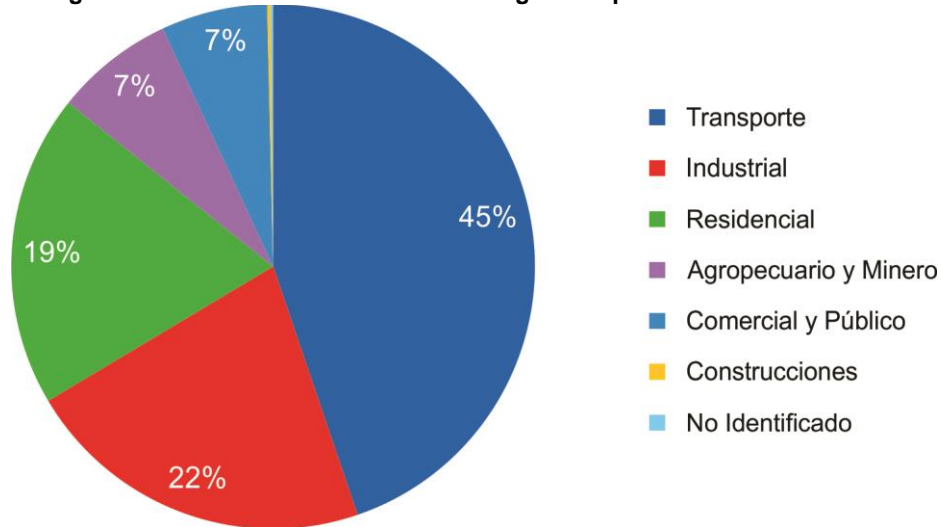


Fuente: (UPME, 2015)

El país depende entonces en cerca de un 78% de combustibles fósiles que hoy en día está en capacidad de autoabastecer y cuyos niveles de producción actuales indican reservas suficientes para cerca de 170 años en el caso de carbón, del orden de 7 años para el petróleo y 15 años para el gas natural. En el caso de este último, es necesario tener en cuenta que conforme las tasas de producción decrecen y la demanda aumenta, se prevé la necesidad de realizar importaciones a partir del año 2017 o 2018 (UPME, 2015).

De acuerdo a lo expresado por la (2015), se plantea que en vista de dicha consideración, vale la pena tener en cuenta que los usos de los energéticos mencionados (petróleo y gas natural) se encuentran principalmente concentrados en los sectores (figura 1-12) de consumo correspondientes al transporte y la industria, para prestar servicios de transporte y calor útil, seguidos del uso del gas natural para la generación de energía eléctrica (UPME, 2015).

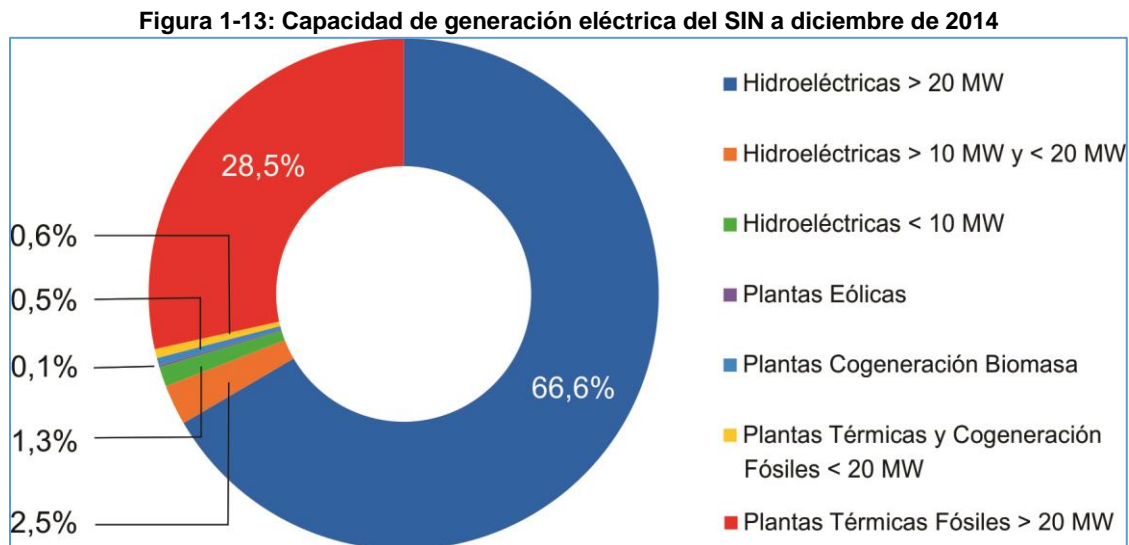
Figura 1-12: Demanda doméstica de energía final por sector en el año 2012



Fuente: (UPME, 2015)

Entre tanto, la matriz eléctrica, que produce aproximadamente un 17% de la energía final consumida en el país, cuenta con la amplia participación de la energía hidroeléctrica como recurso renovable, que representa entre el 70% y 80% de la generación (Figura 1-13), según

variaciones en la hidrología anual, y el 70% de la capacidad instalada a diciembre de 2014 (UPME, 2015).



Fuente: (UPME, 2015)

Sin embargo, a raíz de las ventajas que traería la diversificación de la canasta energética, fundamentada en la disponibilidad de recursos, la progresiva reducción en los costos de inversión asociados a su aprovechamiento, y la evolución en términos de rendimiento y sofisticación de tecnologías como son las relacionadas con la energía eólica y la solar, estas alternativas, junto con la cogeneración moderna de calor y electricidad a partir de biomasa y la generación geotérmica (que aportan en ambos casos firmeza y mayor diversificación en la canasta no solo eléctrica sino energética) comienzan a cobrar sentido para ser incorporadas en la matriz energética nacional, sin mencionar, por otro lado, la posibilidad de incrementar el uso de derivados energéticos de la biomasa en el sector transporte.

La principal razón para el relativo subdesarrollo de las FNCER en Colombia radica en que, hasta el momento, a raíz de los costos de inversión asociados, un contexto energético de relativa abundancia de recursos convencionales ligado a una fuerte participación de hidroenergía en la matriz eléctrica, sumado a dificultades socioculturales y políticas para el ejercicio de acciones dirigidas a producir resultados de largo plazo, el Gobierno Nacional y los tomadores de decisiones del sector energético no han enfrentado la necesidad de trazar una hoja de ruta o

definir una estrategia para el aprovechamiento de los recursos energéticos de origen renovable que se tienen disponibles.

Es así como a pesar de haberse fijado algunas metas indicativas para la participación de estas fuentes en la canasta eléctrica, estas no se han cumplido, a raíz de la ausencia de instrumentos conducentes a tal propósito, que ha obedecido a su vez a la inexistencia de una política firmemente establecida que apoye y promueva el desarrollo y utilización de estas fuentes. Sin embargo, esta situación se encuentra ante una coyuntura sin precedentes con la expedición de la Ley 1715 de 2014, que sumada al interés de diversos actores comerciales, emprendedores, académicos, institucionales y el apoyo recibido especialmente de entidades multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo –BID–, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial –FMAM–, la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional –USAID–, el Banco Mundial –BM–, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD–, y otras agencias interesadas en promover el despliegue de estas tecnologías en América Latina y especialmente en Colombia, permiten pronosticar un acelerado crecimiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable –FNCER– en los próximos años.

Para (Parra-Peña S, Ordoñez A, & Acosta M, 2013), el sector agropecuario ha sido tradicionalmente uno de los principales sectores productivos del país, sin embargo, tras la crisis de finales de los años 90, su crecimiento ha estado por debajo de su nivel potencial y rezagado en comparación con el resto de la economía. Entre los cuellos de botella que deben superarse están: la baja competitividad en algunos rubros, la subutilización de las tierras óptimas para la agricultura, la limitada infraestructura para transportar y comercializar los productos agropecuarios, el uso ineficiente de factores de producción (tierra y agua), la escasa innovación en los sistemas productivos y la baja productividad de la mano de obra rural (Presidencia de la Republica de Colombia, 2010).

1.3 Disposiciones legales escenario Colombiano (Marco Normativo)

Para el caso Colombiano, el desarrollo de actividades en el sector energético específicamente con energías no convencionales se enmarca según la ley 1715 de 2014 “por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. A partir de este marco se da conocer aspectos importantes, en especial en los incentivos a la inversión para promover la llegada de capital; desde el punto de vista ambiental que se encauza en la disminución paulatina de energía de origen fósil (efecto invernadero) y tal vez a nivel social en la disminución en la instalación de proyectos hidroeléctricos, esto por el tema de los asentamientos humanos que por la obligatoriedad migran a un cambio de hábito económico-cultural y de uso de la tierra. Se espera que a través de dicha legislación a la final supla a largo plazo las necesidades energéticas, ambientales y sociales del país.

Velez, G (2015) dice, “la ley 1715 contempla cuatro tipos de incentivos a la inversión en fuentes no convencionales de energía: deducción de la renta líquida, en un período de 5 años, del 50% de la inversión realizada sin exceder el 50% de dicha renta; exclusión del IVA de los equipos, elementos materiales, servicios, etc.; exención arancelaria de los componentes importados que no tengan oferta nacional y depreciación acelerada de los activos. Estos incentivos aplican a los agentes establecidos y, naturalmente, a los nuevos entrantes.

En función de dicha ley, se van emitiendo una serie de decretos y/o resoluciones para darle más claridad a los interesados, para este caso en el conducto regular en temas técnicos, ambientales, tributarios, etc, que serían procedimientos encabezados por el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de desarrollo sostenible y medio ambiente, CARS y demás dependencias según su competencia.

Para el caso de las instalaciones fotovoltaicas deben acogerse a los siguientes decretos:

- Decreto 2469 de diciembre de 2014 el cual establece los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración, expedido por el Ministerio de Minas y Energía.
- Decreto 2492 de diciembre de 2014 el cual adopta disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta a la demanda energética, expedido por el Ministerio de Minas y Energía.

- Documento CREG 097 – diciembre de 2014: El cual regula la actividad de autogeneración, expedido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, expedido por el Ministerio de Minas y Energía.
- DECRETO NÚMERO 1073 DE (Mayo 26 de 2015) “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía”
- Decreto 2143⁴ del 4 de noviembre del 2015 Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014.
- Res. 045⁵ de Febrero de 2016 - Procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE).

1.4 Proyecto fotovoltaico beneficiado con los incentivos en Colombia

Según (Amaericafotovoltaica, 2016) luego de que en el año 2014 se aprobara la Ley 1715 que promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, muchos colombianos esperábamos los primeros incentivos por el uso de energía alternativa en Colombia.

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en mayo del 2016 avaló el primer proyecto de energía renovable para acceder a incentivos tributarios. Después de 2 meses de reglamentada la Resolución UPME 045 de 2016. Es un proyecto de energía solar fotovoltaico que se lleva a cabo en la ciudad de Buga en el Valle del Cauca. La empresa Synkrom Solar

⁴<http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/noticias/decreto-2143-del-4-de-noviembre-2015#sthash.K7inSsrG.dpuf>

⁵<http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/secciones-de-interes/resoluciones/res-045-febrero-2016#sthash.7brOPsBa.dpuf>

S.A.S. adelanta una solución fotovoltaica de 111 kW para una bodega industrial. El proyecto consta de 400 paneles solares, cuya inversión total asciende a 198 millones de pesos, de los cuales 31 millones corresponden al IVA que serán deducidos como resultado de la obtención del incentivo tributario por el uso de la energía solar en Colombia. Esta empresa Colombiana se convierte en la primera en obtener un certificado técnico por la UPME para exención del IVA gracias a su proyecto de energía solar fotovoltaica. Luego de ser avalada la certificación técnica el inversionista deberá presentar ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) la solicitud de incentivo tributario para que el trámite quede en firme, según el procedimiento que defina el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Algunas experiencias en energía solar a nivel global y nacional

2.1.1 Proyectos en energía solar a nivel internacional.

Las plantas de energía solar más importantes que existen en todo el mundo según (SGIC-FNCER, 2016):

- La central más importante está ubicada en California, Estados Unidos. Tiene una capacidad para generar 1.096 GW/h al año, suficiente para dar electricidad a 180.000 hogares.
- Plantel energético TOPAZ: capaz de generar 1.096 GW/h al año, suficiente para dar electricidad a 180.000 hogares en California. Esta, por ahora, es la planta fotovoltaica más grande del mundo, con más de 9 millones de paneles solares y se desarrolla en un área de 26 kilómetros cuadrados.
- California Valley Solar Ranch: al noroeste de Los Ángeles abarca 1.966 hectáreas de extensión. La planta es propiedad de la compañía eléctrica NRG Energy y fue desarrollado por el fabricante de paneles fotovoltaicos de SunPower. Sunpower también proporcionó 88.000 módulos de seguimiento que pivotan los paneles – que les permite absorber la máxima cantidad de rayos durante todo el día. Esta planta tiene capacidad para abastecer 100.000 hogares y cuenta con 550GW anuales de potencia.
- Proyecto Mesquite Solar: Otra región rica en el recurso solar es el sur de Arizona. Con 413 GW al año el Proyecto Mesquite Solar está bien situado, a 100 kilómetros de la gran área metropolitana de Phoenix. Tiene el potencial para alimentar 260.000 hogares. La

planta está a cargo de la eléctrica estadounidense, Sempra Energy con 800.000 paneles suministrados por el fabricante chino Suntech Power.

A nivel de Latinoamérica

- México ha inaugurado este año la última fase de la planta solar más grande de Latinoamérica. Aura Solar I se instaló en Baja California Sur en un tiempo récord de siete meses y a partir de septiembre de 2013 empezó a convertir los rayos de sol en corriente alterna, la cual ya alcanza a una parte del país. Este año, la planta abrirá en su totalidad, generando energía limpia para alimentar a millones de mexicanos. Sus instalaciones ocupan 100 hectáreas del Parque Industrial de La Paz. Energía Limpia XXI destaca que la planta Aura Solar de 131.800 celdas que reducirá la contaminación en 60 mil toneladas anuales de CO₂.
- En Chile La Presidenta Michelle Bachelet inauguró recientemente el Copiapó, la planta “Amanecer Solar CAP”, considerado el parque solar fotovoltaico más grande de Latinoamérica y uno de las más importantes del mundo. El proyecto fue desarrollado, construido e interconectado por la empresa SunEdison, líder a nivel mundial en el sector de la energía solar fotovoltaica, bajo un acuerdo de compra de energía con Grupo CAP, el principal productor de minerales de hierro y pellets en la costa americana del Pacífico, el mayor productor siderúrgico en Chile y el más importante procesador de acero del Cono Sur. La planta “Amanecer Solar CAP” tiene una capacidad total instalada de 100MW, energía que corresponde al consumo anual de 125.000 hogares y equivalente al 10% de la meta de capacidad instalada de generación ERNC fijada por el Gobierno de Chile para 2014.
- También países como Perú están promoviendo el uso de energía solar. El desafío del sector es llevar energía a 2,2 millones de peruanos de las zonas rurales a través de la extensión de redes y soluciones no convencionales como los paneles solares, para lo cual se empezará adjudicando un proyecto de financiamiento, instalación, operación y mantenimiento de hasta 500 mil paneles solares.

En Centroamérica:

- En Panamá, 31 empresas participaron de la primera licitación para la contratación de energía solar a gran escala. Iván Barría, Gerente General de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA) dijo que ‘mediante esta licitación de 66 MW se está incentivando la inversión privada en energía renovable que resultarán en unos 120 millones de dólares’. Este año la Secretaría Nacional de Energía de Panamá informó que nueve parques solares se podrían desarrollar en el corto plazo, tres de ellos en Chiriquí y seis en Coclé.
- Guatemala tiene una de las mayores plantas fotovoltaica de la región con 5 MW de potencia y cerca de 20 mil paneles solares. Esta semana Eduardo Font, Gerente General de la industria papelera Painsa, dijo que tienen previsto una inversión de 12 millones de dólares en una planta solar de 8MW. El país también ha incrementado el uso domiciliario de energía solar. Pequeños hoteles exploran diferentes alternativas para generar energía con la irradiación, según ha informado la Asociación de Pequeños Hoteles de Guatemala (Asopehgua).
- En El Salvador El Banco Alemán de Desarrollo (KfW) otorgó a El Salvador un préstamo por 30 millones de dólares para créditos a pequeñas y medianas empresas de energía renovable, principalmente solares. El Gobierno de El Salvador y tres empresas de energía eléctrica firmaron cuatro contratos para la producción y el suministro de 94 megavatios de energía solar por un monto cercano a los 250 millones de dólares. La energía será suministrada por las empresas UDP Neoen-Almaval (60 megavatios); Solar Reserve Development (20); y UDP Proyecto La Trinidad, señala el informe de Energía Limpia XXI.
- Honduras avanza en un proyecto de 200 millones de dólares en la zona de Choluteca que en 2015 podría generar hasta 200MW. La Universidad Pedagógica de Honduras estudia un proyecto fotovoltaico de 90 millones de dólares que suministraría electricidad al campus. Además las empresas Cohessa y Soposa están invirtiendo en proyectos que podrían generar más de 50MW de energía solar en la zona del caserío de Talpetate, departamento de Valle. Honduras ha implementado una atractiva política de incentivos fiscales para el sector solar que está empezando a dar muy buenos resultados.

- Costa Rica: en 2013 China y Costa Rica firmaron acuerdos por 30 millones de dólares para financiar la instalación de 50 mil paneles solares. Además a inicios de este año el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) anunció el avance de un plan piloto para el uso de energía solar residencial que aspira alcanzar a 600 mil clientes. En los últimos 7 años se han invertido 1,700 millones de dólares en diversos proyectos de energía renovables solar, eólica, hidroeléctricas entre otras. Varias empresas en Costa Rica han comenzado a introducir proyectos solares para garantizar costos más favorables de producción y reducir la contaminación ambiental.
- Nicaragua: En 2013 Nicaragua inauguró una planta solar de 1.3MW con apoyo de Japón y este año construyó una planta de 3.1MW con tecnología de la firma Canadian Solar. Así mismo se autorizó a la firma HVM PIONEER realizar estudios para la construcción de una planta de generación solar en el departamento de Chinandega la que podría producir 100 megavatios de energía. Jóvenes y mujeres impulsan una revolución solar en Nicaragua Para el año 2016 se espera llevar el servicio eléctrico a más de veinte mil viviendas en zonas rurales aisladas y en este proceso la energía solar jugará un papel determinante.

2.1.2 Experiencias de energía solar a nivel nacional.

En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia. Según (Rodríguez M., 2009), en Colombia este sistema de generación se ha implementado en muchas partes a lo largo del territorio, algunas de ellas son:

Hospital Pablo Tobón en Medellín en el año 1984: Para reducir el consumo de energía, se instalaron en el año 1987 colectores solares de placa plana, los cuales reemplazaron una caldera que salió de servicio en la institución, de esta manera se instalaron 345 m² de colectores para calentar diariamente 22.500 litros de agua a 45°C Centro Las Gaviotas en ciudad Salitre en Bogotá (Hospital Pablo Tobón, 2010.).

Sistema solar de 2.8 kW instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía eléctrica, hoy IPSE): en la Venturosa, Vichada, en 1996. Suministra energía a 120 V AC a una comunidad de 12 familias y centro escolar. Gracias a este tipo de generación se logra dar alcance en el suministro de energía eléctrica a comunidades alejadas.

Sistema fotovoltaico de 3.4 kW del Oleoducto Caño Limón-Coveñas: En operación desde hace más de 20 años. Este sistema permite realizar la operación de equipos propios del oleoducto, facilitando las condiciones de alimentación eléctrica en áreas alejadas. Este sistema ha permitido contar con la disponibilidad de válvulas remotas sin realizar altas inversiones por suministros desde fuentes con generación tradicional hidráulica. (Rodríguez M., 2009).

La Institución Educativa Martinica en la zona rural de Montería: Primer Colegio en Colombia que funciona con energía solar, cuenta con una instalación de 16 paneles solares que garantizan luz durante 24 horas. La iniciativa permite que aproximadamente 400 Kilogramos de CO₂ se dejen de emitir.

Universidad Autónoma de occidente: Desde hace 3 años y con la ayuda de la Epsa, la Universidad Autónoma de Occidente en Cali, capital del departamento del Valle del Cauca, planeó instalar un sistema de energía solar que apoyará el suministro de energía en la universidad y que fuera un centro de investigación para el uso de la energía solar fotovoltaica en Colombia. Hoy, la universidad cuenta con 638 paneles solares que han aportado grandes resultados.

Institución Pública Ramón B. Jimeno en Bogotá abastecido 100% con energía solar: La capital de Colombia, Bogotá, también empieza mostrar avances importantes en el uso de energía solar. Durante el mes de mayo del 2015 fue inaugurado el Colegio Ramón B. Jimeno de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá – EAB – Esta institución cuenta con 100% de iluminación producida con energía solar gracias a la instalación de 148 paneles solares. La inversión que realizó la EAB lo convierte en uno de los pioneros en el cumplimiento de la ley 1715 de 2014.

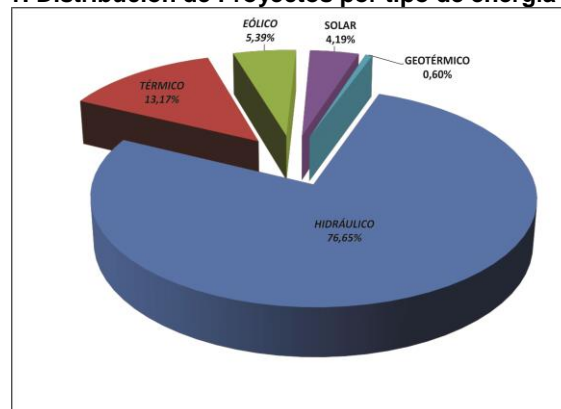
Fundación Centro Experimental Las Gaviotas: Esta fundación sin ánimo de lucro que recibió el Premio Mundial del Medio Ambiente, desde sus inicios ha propuesto modelos de energía alternativa. Cuentan con las primeras instalaciones de calentadores solares que fueron realizadas con el apoyo de esta fundación que se ha dedicado a explorar y desarrollar tecnologías y de sostenibilidad.

2.1.3 Balance general de proyectos de energía según UPME

De acuerdo con la UPME (2015), desde diciembre de 2011 se han registrado 317 proyectos de generación, de los cuales un poco más de la mitad de los registrados (167) cuentan con registro vigente, sumando una capacidad instalada estimada de 6.600 MW.

En la figura 2-1, presenta la distribución de los registros de proyectos registrados y activos por tipo de energía según la fuente de generación; se evidencia que la energía hidráulica posee el mayor porcentaje de la tajada (76,65%), seguido del térmico (13,17%), un tercer lugar para el eólico (5,39%), solar (4,19%) y geotérmico (0,6%).

Figura 2-1: Distribución de Proyectos por tipo de energía producida

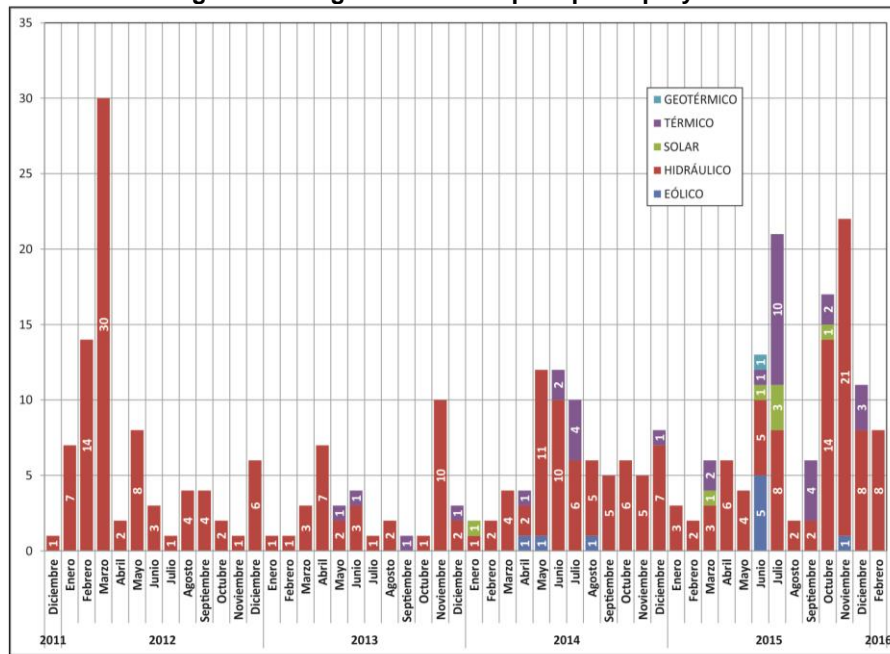


Fuente: (UPME, 2016)

En la figura 2-2 data los reportes del 31 de diciembre de 2015 a 29 de febrero de 2016, la diferencia se debe no solamente a los nuevos registros (8 proyectos hidráulicos) y al registro que

perdió su vigencia (1 proyecto hidráulico), sino que entraron 4 proyectos adicionales que antes habían sido declarados vencidos (1 solar y 3 eólicos), para un total de 11 nuevos registros activos (UPME, 2015).

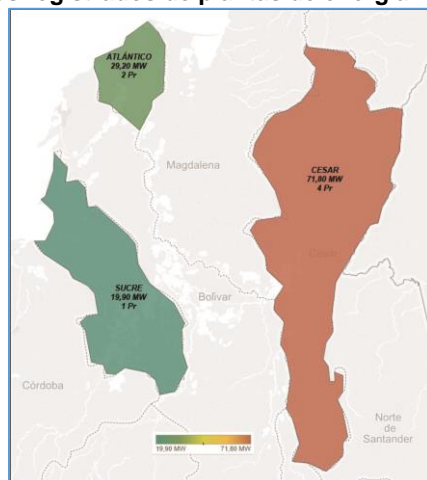
Figura 2-2: Registro histórico por tipo de proyecto



Fuente: (UPME, 2016)

En la costa norte Colombiana, tenemos tres departamentos Atlántico (2), Cesar (4) y Sucre (1) que suman 7 proyectos con fuente de energía solar, (figura 2-3). El departamento del Cesar está en el primer lugar con un 59,4%, seguido de Atlántico (24,1%) y un tercer lugar Sucre (16,5%) de la generación potencial total de 120 Megavatios (MW).

Figura 2-3: Ubicación proyectos registrados de plantas de energía fotovoltaicas en el país año 2016



Fuente: (UPME, 2016)

Para complementar la anterior información, la Tabla 2-1 presenta la evolución del registro de proyectos, con certificaciones vigentes ante la UPME al 29 de febrero de 2016, en comparación con el balance del registro a 31 de diciembre de 2015; en si lo que nos da a conocer la diferencia en número de proyectos en un lapso de 60 días como rango de tiempo.

Tabla 2-1 Evolución de los registros de los proyectos

	29/02/2016	31/12/2015	Diferencia (cantidad)	Diferencia (%)
Número de registros activos	167	156	11	7,05%
<i>Eólico</i>	9	6	3	50,00%
<i>Geotérmico</i>	1	1	0	0,00%
<i>Hidráulico</i>	128	121	7	5,79%
<i>Solar</i>	7	6	1	16,67%
<i>Térmico</i>	22	22	0	0,00%
Capacidad instalada (MW)	6599,97	5624,62	975,35	17,34%
<i>Eólico</i>	1160,00	686,00	474,00	69,10%
<i>Geotérmico</i>	50,00	50,00	0,00	0,00%
<i>Hidráulico</i>	3965,69	3484,24	481,45	13,82%
<i>Solar</i>	120,90	101,00	19,90	19,70%
<i>Térmico</i>	1303,38	1303,38	0,00	0,00%
Fase	167	156	11	7,05%
<i>Fase 1</i>	121	111	10	9,01%
<i>Fase 2</i>	39	39	0	0,00%
<i>Fase 3</i>	7	6	1	16,67%

Fuente: (UPME, 2016)

2.2 Emisiones de gases de efecto invernadero en la generación eléctrica

La Agencia Internacional de Energía (AIE) dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía. Colombia goza aún del privilegio de contar con el abastecimiento interno de hidrocarburos, sin embargo, este recurso no renovable está llegando a su fin pues ya se ha evidenciado que las reservas del país tienen cerca de 6 años de durabilidad con lo cual, se esperaría que se volviera una nación netamente importadora de este recurso (AIE, 2012).

La producción de energía primaria en Colombia proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. Durante el proceso de generación eléctrica a partir de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) genera un alto impacto social y ambiental en su etapa de exploración, extracción, transporte y generación. Durante la etapa de exploración de los combustibles fósiles se generan alteraciones de los ecosistemas y residuos, liberando grandes cantidades de CO₂ debido a que la energía se obtiene a partir de la combustión del carbono presente en los combustibles. Para recuperar el equilibrio natural y evitar que continúen presentándose los efectos nocivos del Cambio Climático, de acuerdo con estudios realizados, se hace necesario reducir las emisiones de GEI en un 25% del nivel actual y el sector energético participa con un 24% en las emisiones globales de CO₂. Por eso el Gobierno Nacional en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio (UPME, 2015).

Según el Diario el Espectador (Colombia 27/01/16), el COP21 celebrado en París, los participantes se comprometieron a trabajar para evitar un aumento superior a 2 grados centígrados en la temperatura global antes de que termine el siglo. El señor Carlos Manuel Herrera, vicepresidente de Desarrollo Sostenible de la Andi (Asociación Nacional de Industriales),

destaca del acuerdo que por primera vez todos los países, tanto potencias como países en vía de desarrollo, están comprometidos con actuar frente al cambio climático. La empresa consultora KMPG, dio a conocer los resultados del estudio sobre responsabilidad corporativa, Herrera se refirió a análisis independientes sobre lo propuesto en COP21 según los cuales los países desarrollados, “que tienen la mayor deuda histórica, propusieron metas por debajo de sus capacidades”. Asimismo, opinó que “los países desarrollados se niegan a reconocer que ellos causaron los problemas porque eso implicaría indemnizaciones”. Resalta, sin embargo, que un gran avance del acuerdo es reconocer la importancia de la adaptación al cambio climático, en vez de puramente la mitigación.

Como opción de energía Solar como fuente, es un recurso inagotable, su generación no produce emisiones y es silenciosa. El mayor impacto ambiental que genera la energía solar fotovoltaica es la afectación del paisaje, también genera una pérdida del suelo en donde se encuentra instalado el sistema durante la vida útil del proyecto. La investigación, el desarrollo y la innovación en el ramo de celdas solares fotovoltaicas y sus aplicaciones, tiene cada vez un mayor interés e impacto en el ámbito internacional debido a sus bondades; un sistema que genera electricidad sin contaminar, no lleva componentes de fricción, es modular, silenciosa, y genera aun con luz difusa.

2.2.1 Las energías renovables como aportantes a la mitigación del cambio climático.

El cambio climático que se ha venido dando desde los últimos 50 años y se debe en gran parte al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) debido a actividades antropogénicas. En Colombia los efectos del Cambio Climático se han visto reflejados en un aumento de la temperatura media, alteración en el régimen de lluvias generando problemas de sequías e inundaciones, disminución del área glacial a una tasa del 3% a 5% anual, aumento del nivel del mar entre 2,3 y 3,5mm al año en la costa Caribe y 2,2mm al año en la costa Pacífica, disminución a futuro de área de páramos del 75% al 90% en la segunda mitad del siglo XXI. Estos efectos tienen consecuencias negativas sobre la vida humana; alteran el confort higrotérmico generando,

por ejemplo, molestias debido al exceso de calor; afectan la salud humana aumentando la vulnerabilidad a enfermedades tropicales como el dengue y la malaria; generan una disminución en la disponibilidad de agua causando problemas de desabastecimiento y de saneamiento básico; aumentan la vulnerabilidad del sistema agropecuario principalmente debido a procesos de desertificación (UPME y CorpoEma, 2010: V.2).

A partir del año 2004 se puso en marcha el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 2008) y el establecimiento de disminución de emisiones de GEI. La puesta en marcha del protocolo ha generado una presión cada vez mayor, por parte de los consumidores de los países suscritos al protocolo y pertenecientes a la Comunidad Económica Europea, sobre la exigencia a sus proveedores de una huella de carbono tendiente a cero (Consejo Nacional de Producción Limpia/Agencia Regional de Desarrollo Productivo Maule, 2010).

De acuerdo con estudios realizados para recuperar el equilibrio natural y evitar que continúen presentándose los efectos nocivos del Cambio Climático, es necesario reducir las emisiones de GEI en un 25% del nivel actual y el sector energético participa con un 24%% en las emisiones globales de CO₂. Por lo tanto, la sustitución de las fuentes tradicionales por energías renovables genera grandes aportes a la mitigación del cambio climático.

Debemos indicar que la reducción de emisiones de CO₂ tiene tres factores clave: el ahorro, consumo de productos y servicios bajos en carbono, por ejemplo un cambio de dieta; la eficiencia energética reducir la intensidad energética de la economía y el desarrollo de las energías renovables. Quedan por desarrollar las “políticas blandas”, es decir, aquellos “pequeños empujones” que generan los grandes cambios culturales. Las mayores barreras están en conceptos erróneos (ONU, 2012) .

Colombia cuenta con el potencial para desarrollar una industria forestal integrada basada en un modelo de cluster. Sin embargo, sus principales limitaciones actuales son: un bajo nivel de producción y exportación, la poca integración entre las grandes compañías y las PYMES, las dinámicas especulativas con las tierras, la falta de infraestructura –particularmente de vías– y el poco apoyo por parte del gobierno. Este apoyo es crítico para solucionar el cuello de botella de la financiación del sector que requiere de inversiones que busquen una alternativa de

diversificación no tan altamente rentable, pero sí de largo plazo. Inversiones con estas características, precisamente, balancearían las inversiones petroleras que son altamente rentables, pero de corto plazo. Compensación ambiental Los cultivos forestales tienen además la característica de compensar los impactos ambientales de la explotación petrolera. Según la Nasa, las actividades humanas que más contribuyen al calentamiento global son la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y la tala de bosques. El calentamiento global es precisamente un desequilibrio entre los gases de efecto invernadero (GEI) que están siendo emitidos a la atmósfera y los que están siendo capturados. La quema de combustibles fósiles y la tala de bosques han hecho que se emitan más gases efecto invernadero de los que son capturados naturalmente por los océanos y los bosques. En esta medida, al promover las plantaciones forestales y la conservación de bosques con los recursos de la explotación petrolera, se genera una compensación ambiental por el uso de estos recursos. El CO₂ equivalente que es emitido por la quema de cada barril de petróleo puede ser capturado a través de la siembra de árboles y/o de la conservación de bosques. Si bien los compromisos internacionales actuales del país no obligan a generar esta compensación, el promover un esquema de sostenibilidad en un sector tan crítico podría, hacia futuro, permitir al país vender un petróleo certificado como carbono neutral con unos sobrepuestos asociados, ya sea a la comercialización de bonos de carbono o a la diferenciación del petróleo colombiano como verde (García, 2012).

2.2.2 Las ZNI y la gestión ambiental energética

El acceso a la energía eléctrica a las ZNI, posibilita la implementación de diversas herramientas que facilitan las actividades de los habitantes mejorando su nivel de vida y disminuyendo los riesgos como explosiones debido a la cocción con kerosene, y problemas de salud, como deficiencias respiratorias causadas por las constante cocción con leña. Adicionalmente, la energía eléctrica posibilita el acceso a los sistemas actuales de información y comunicación.

Los impactos ambientales y sociales de la energización en las ZNI dependen de la gestión que se realice; una adecuada gestión energética genera un aumento de la calidad de vida de los habitantes y proporciona soluciones sostenibles a largo plazo contribuyendo a la auto

sostenibilidad local, sin implicar grandes daños ambientales, es más, contribuye al uso eficiente de los recursos y a mitigar el cambio climático (ESTEVE G, 2011).

3. METODOLOGÍA

El escenario del trabajo Académico se ubica en el Municipio de Ortega (Vereda San Roque), departamento del Tolima; de manera preliminar se tomó de base la información emitida por el proyecto PERS TOLIMA (Planes de Energización Rural Sostenible departamentales o regionales) que fueron estructurados a partir de un análisis de los elementos regionales relevantes en materia de emprendimiento, productividad y energización rural que permiten identificar, formular y estructurar lineamientos y estrategias de desarrollo energético rural así como proyectos integrales y sostenibles de suministro y aprovechamiento de energía; su objeto es proveer el servicio y apoyar el crecimiento y el desarrollo de las comunidades rurales de las regiones objetivo.

Planteamiento del Problema: El trabajo académico nace a raíz de la necesidad generalizada en el área rural (la energía) para suplir las necesidades y/o las actividades cotidianas de una familia campesina. Dada esta necesidad, para el gobierno nacional o el inversionista privado el llevar la energía a lugares alejados, su costo es muy alto; caso real generalizado en Colombia donde hay cobertura, el servicio es deficiente y costoso; en general, se paga el doble del promedio del SIN por kWh en las Zonas No interconectadas y se recibe la mitad de horas de servicio; el 99% de las localidades tienen un servicio de menos de 6 horas al día; en promedio se paga 520,38 COP\$/kWh y el costo alcanza los 842,86 COP\$/kWh en Vaupés, y los 605,86 COP\$/kWh en Chocó1 (Florez, Tobón. y Castillo, 2009). Sumado a ello para llevar energía desde la cabecera municipal al perímetro de la misma instalar una línea de tensión baja puede estar oscilando entre los \$35 a \$ 40 millones de Cop. (Triana, 2016), estos precios ya están tabulados según costos por kilómetro de redes eléctricas de media tensión de acuerdo a diseño según Resolución CREG 098 -2014.

3.1 Objetivos

Objetivo General

- Realizar un estudio hipotético a nivel de energía no convencional (energía fotovoltaica) en un escenario rural aislado de la red convencional.

Objetivos específicos

- Valorar el recurso solar según las condiciones geográficas, climáticas, técnicas a nivel de energía solar mínimas para la implementación del sistema fotovoltaico.
- Realizar el diseño fotovoltaico estándar que aseguren el suministro de energía a una vivienda rural campesina
- Evaluar los beneficios ambientales en la reducción de la huella de carbono y los beneficios económicos que aplicaría el sistema fotovoltaico según Ley 1715 del 2014.

3.2 Procedimiento

El propósito es el de diseñar una alternativa de energización sostenible basada en un sistema de generación fotovoltaico para una vivienda rural; se pretende contribuir con la ampliación de cobertura de energía mediante las siguientes etapas: Ubicación del escenario espacial, Estudio del recurso solar, dimensionamiento del sistema de energía solar fotovoltaica y evaluación de los beneficios ambientales en la reducción de emisión de CO₂ y beneficios económicos se según la legislación Colombiana.

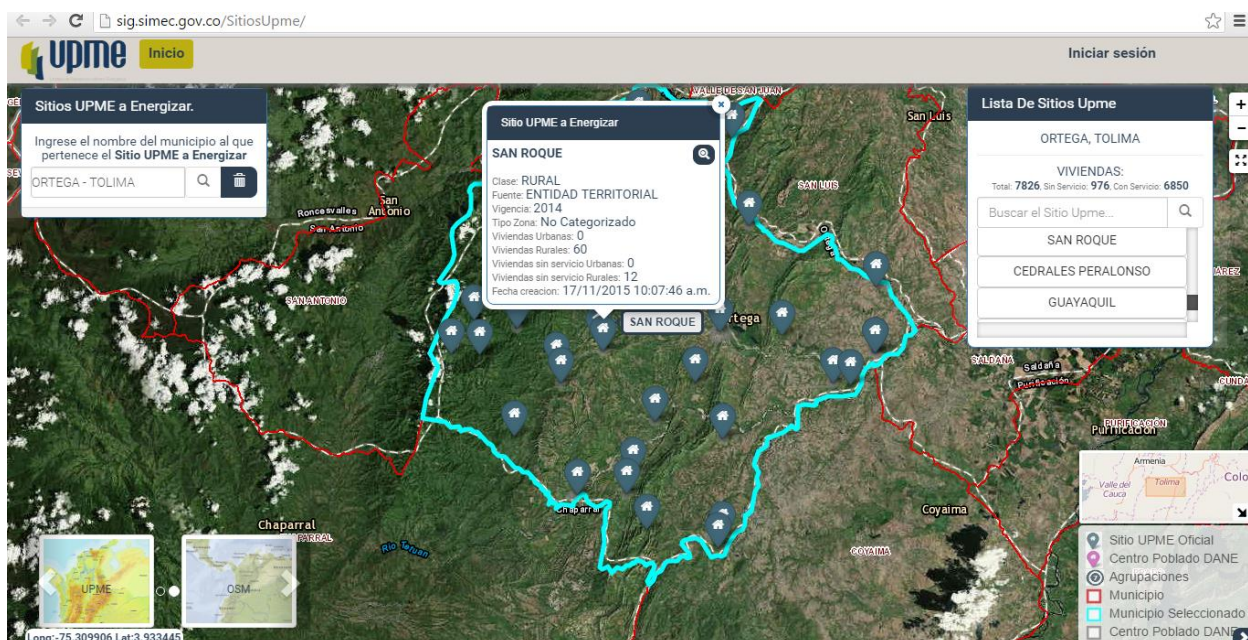
3.2.1 Área de influencia o región de estudio

Ubicación del escenario: Se toma de base la información de la página web de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2015), la cual nos da a conocer de manera dinámica que el Municipio de Ortega (Tolima) cuenta con un total de 7.826 viviendas (100%) de las cuales 6.850 (87,53%) cuentan con servicio de energía y 976 (12,47%) no cuentan con dicho servicio.

<http://www.upme.gov.co/zni/>

El escenario específico es la vereda San Roque (Figura 3.1), dicha población cuenta con 60 viviendas rurales de las cuales 12 están sin servicio de energía eléctrica. El alcance del estudio para la implementación del sistema fotovoltaico prevé beneficiar aproximadamente 12 familias (48 personas) teniendo en cuenta que según encuesta nacional de calidad de vida (2008) en promedio la región central de Colombia cuenta un número promedio de miembros en el área rural por familia (Hogar) de 3,9 personas.

Figura 3-1 Ubicación espacial de la Vereda San Roque



Fuente (UPME, 2015) <http://sig.simec.gov.co/SitiosUpme/>

Localización: Latitud 3.9°N Longitud 75.3°W Altitud 513 m

La energización mediante un sistema no convencional para las 12 viviendas, permitiría mejorar en parte las condiciones de vida de las personas, que tal vez incentivara el desarrollo cultural y tecnológico con el acceso a nuevas tecnologías amigables con el sistema y promovería también el desarrollo económico con la posibilidad de generar microempresas y alternativas turísticas, además con un impacto ambiental positivo en el entorno de la vereda.

3.2.2 Recurso solar

La irradiación solar media en Colombia es de 4,5 y 5,0 Kwh/día/m², lo que equivale a una irradiación anual entre 1.500-2.000 Kwh/año/m² (Ver figura 3-2). Este nivel de irradiación hace de Colombia un país con un potencial solar enorme comparado con otros países del entorno y también los del continente Europeo (TOLEDO, 2013).

Ilustración. Irradiación anual sobre superficie plana.
Figura 3-2: Mapa de Colombia (Radiación)



Fuente: (Amaericafotovoltaica, 2016)

3.2.3 Para la simulación de un sistema fotovoltaico se toma de base los datos meteorológicos disponibles

Figura 3-3: Base de datos Meteorológicos disponibles

BASES DE DATOS DISPONIBLES						
Base de datos	Región	Valores	Fuente	Periodo	Variables	Disponibilidad
Meteonorm	Mundial	Mensuales	1325 estaciones terrestres Interpolación	1981-2010	Gh, Ta, viento, otros	Software, pagando
Meteonorm	Mundial	Horarios	Generados sintéticamente	1981-2010	Gh, Ta, viento, otros	Software, pagando
Satelight	Europa	Horarios	Meteosat - cuadrículas de 5x7 km	1996-2000	Gh	Web, gratis
US TMY2	EEUU	Horarios	NREL, 239 estaciones terrestres	1960-1990	Gh,Dh, Ta, viento	Web, gratis
ISM-EMPA	Sulza	Horarios	22 estaciones terrestres	1981-1990	Gh,Dh, Ta, viento	Incluido en PV Syst
Helioclim (SoDA)	Europa y África	Horarios	Meteosat	Desde 2004	Gh	Web, pagando
NASA-SSE	Mundial	Mensuales	Satelital - cuadrículas de 111x111 km	1983-1993	Gh, Ta	Web, gratis
WRDC	Mundial	Horarios Diarios Mensuales	1195 estaciones terrestres	1964-1993	Gh	Web, gratis
PVGIS-ESRA (EU)	Europa	Mensuales	566 estaciones terrestres interpolación en cuadrículas de 1x1 km	1981-1990	Gh, Ta	Web, gratis
PVGIS-ESRA (AF)	África	Mensuales	Meteosat (Helioclim -1)	1985-2004	Gh, Ta	Web, gratis
Helioclim -1 (SoDA)	Europa y África	Mensuales	Meteosat - cuadrículas de 50x50 km	1985-2005	Gh	Web, pagando
RESTScreen	Mundial	Mensuales	Estaciones terrestres y NASA	1961-1990	Gh, Ta, viento	Software, gratis
SolarGIS	Mundial	Horarios	Meteosat - cuadrículas de 4x5 km	Desde 1994	Gh, Dh, Ta	Web, pagando

Fuente: (Fonroche, 2015)

Figura 3-4: Evaluación de bases de datos meteorológicos

VALORACIÓN DE LAS BASES DE DATOS							
Base de datos	Región	Variables	Valores	Fuente	Histórico	Actualización	Valoración final
Meteonorm	○○○	○○	○○	○○	○○○	○	13
Meteonorm	○○○	○○	○○○	○○	○○○	○	14
Satelight	○○	○	○○○	○○	○	○	10
US TMY2	○	○○○	○○○	○	○○	○	11
ISM-EMPA	○	○○○	○○○	○	○	○	10
Helioclim (SoDA)	○○	○	○○○	○○	○	○○○	12
NASA-SSE	○○○	○○	○○	○	○	○	10
WRDC	○○○	○	○○○	○	○○	○	11
PVGIS-ESRA (EU)	○○	○○	○○	○	○	○	9
PVGIS-ESRA (AF)	○	○○	○○	○	○	○	8
Helioclim -1 (SoDA)	○○	○	○○	○○	○○	○	10
RESTScreen	○○○	○○○	○○	○	○○	○	12
SolarGIS	○○○	○○○	○○○	○○○	○○	○○○	17

Fuente: (Fonroche, 2015)

Las mejores bases de datos son SolarGIS y METEONORM, existiendo una diferencia sustancial entre ellas según valoración realizada de la tabla anterior. Para el caso específico de Colombia SolarGIS es una opción muy recomendable para el ejercicio académico.

SolarGIS, es la fuente más usada de datos meteorológicos fuera del área geográfica de Europa y Norteamérica. Son datos satelitales de alta calidad disponibles en cuadrículas muy pequeñas, típicamente de 4x5 km y que han sido reconocida por la Agencia Internacional de la Energía (Solar Heating and Cooling Program – Task 36) como la mejor base de datos del mercado en términos de precisión, confiabilidad y representatividad de los datos. Los datos de SolarGIS provienen de una base de datos con mediciones de la radiación global horizontal (Gh), radiación difusa horizontal (Dh) y temperatura ambiente (Ta) realizadas cada 15-30 minutos dependiendo de la región. A partir de estos datos que abarcan múltiples años se produce la serie más representativa de estos datos que puede ocurrir en un año, esta serie es conocida como el año meteorológico típico (TMY, por sus siglas en inglés). La serie del TMY suele tener una resolución temporal de horas, aunque en algunos casos también se pueden obtener resoluciones temporales menores, por ejemplo 10 minutos. Esta base de datos también contiene valores para varios tipos de probabilidad de excedencia, típicamente del 50 y 90% (P50 y P90, respectivamente), aunque también existe la posibilidad de obtener valores con otras probabilidad de excedencia (por ejemplo P75, P95, P99). Un valor con una probabilidad de excedencia del 50% (P50) significa que en un 50% de los casos los valores reales estarán por encima de ese valor, de igual manera un valor con una probabilidad de excedencia del 90% (P90) significa que los valores reales serán en un 90% de los casos superiores a ese valor (Fonroche, 2015).

3.2.4 Diseño del sistema

El diseño de una instalación fotovoltaica puede llegar a ser algo complejo, y si lo queremos aprender podemos adquirir los conocimientos para realizar los cálculos a lápiz y papel vía WEB por ejemplo en la siguiente página es una guía práctica para aprender si no tenemos acceso a un software: <http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>; pero existen programas informáticos prácticos los cuales facilitan la labor del diseño; para nuestro caso se utilizara el software informático PVSYST v6.44, es un programa que lo

puedes bajar de manera gratuita por 30 días (<http://www.pvsyst.com/en/software/download>) y con el tutorial puede ser aplicado para el estudio, dimensionamiento y análisis de diferentes sistemas fotovoltaicos como pueden ser aislados, en red, sistemas de bombeo, etc.

Una de las principales características de este software, es que, permite realizar una simulación del sistema diseñado a lo largo de un año estimando valores de interés como pueden ser la energía total producida o el performance ratio (PR) de la instalación (TOLEDO, 2013).

Cargas de la instalación FV hipotética: A los habitantes de la Vereda San Roque del municipio de Ortega Tolima (base social objetivo del documento académico), se implementaría un sistema fotovoltaico el cual será calculado de acuerdo con el siguiente cuadro de cargas o consumos hipotéticos. Se tomó de base el Consumo de subsistencia: 173 kWh-mes Resolución 355 de 2004 MME, para municipios cuya altura sea inferior a 1000 msnm y 130 kWh-mes para municipios cuya altura sea superior a 1000 msnm.

Tabla 3-1: Cuadro de cargas de la instalación FV.

Tipo	Descripción	Vatios	Cantidad	Horas/Día
T.V.		55	1	6,00
Neveras		160	1	24,00
Otros	Bombillo Led 2800 K 10w Interior	10	3	4,00
Otros	Bombillo Led 2800 K 10w Exterior	10	2	7,00
Otros	Ventilador Turbo	100	1	7,00
Otros	Toma corriente	70	1	2,00
Otros	Cargador celular	4,83	4	1,00

Fuente: (El autor)

La propuesta del sistema fotovoltaico nace como una alternativa de mediano plazo dada la imposibilidad de acceder a la red eléctrica por parte de los habitantes del perímetro del área rural de la vereda San Roque. Se propone un sistema de energía fotovoltaica estandarizado que pueda suplir la necesidad energética de aquellas familias que por su ubicación no cuentan con servicio energético. La utilización de la energía solar, encontramos que esta al ser aplicada puede satisfacer una futura demanda energética de una vivienda rural típica de esta zona rural del país,

ya que se aplica para la Iluminación, como también como fuente de energía para alimentar elementos básicos como: televisores, radios, tomacorrientes entre otros.

Para la implementación del sistema de energía solar hipotético se manifiesta un escenario caracterizado por condiciones como el relieve y vías en mal estado de la zona no es el adecuado para la implementación del sistema de energía eléctrica afectando aquellas viviendas localizadas en pendientes muy abruptas lejanas, o que no se encuentren con algún tipo de acceso fácil a la vivienda que afecten la entrada de los equipos de instalación de la red eléctrica.

Para nuestro caso se utiliza una herramienta (software) o programa de cálculo ampliamente conocido a nivel global llamado **PVSYST**, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones. Con ello se modelara y se llegara al diseño de un sistema fotovoltaico básico para viviendas rurales que no tienen posibilidad de acceder a la energía eléctrica convencional.

Figura 3-5: Vivienda modelo sin energía eléctrica convencional



Fuente: (El autor)

3.2.5 Evaluación del beneficio ambiental (CO₂)

Para evaluar los beneficios ambientales al implementar un sistema solar fotovoltaico se recurrió a la revisión bibliográfica acondicionando la información en función de generación de CO₂ de los proyectos relevantes en el área de las fuentes de generación de energía.

Las centrales hidroeléctricas tienen el porcentaje más alto de participación dentro del Sistema Interconectado Nacional como fuente de generación de energía según la UPME, por ello se tuvo en cuenta para el caso de estudio Colombia, lo anterior con el interés de realizar una referencia de que pueden ser las ventajas que posee la generación a partir de energía solar que la hacen idónea y a lo mejor una alternativa como sinergia en el uso de energía convencional.

Formula reducción de CO₂: Electricidad generada x F. de emisión CO₂ (TonCO₂/Mwh)

Formula 1

Se utilizó la metodología de cálculo de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema fotovoltaico diseñado dado en Toneladas de CO₂ por Megavatio hora al ambiente, el valor empleando el factor marginal de emisión de gases fue 0,374 TonCO₂/MWh (Resolución 91304 de 2014 en su Artículo 1o), con el fin de determinar la reducción de estas emisiones por tratarse de un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

3.2.6 Evaluación económica y aplicabilidad de beneficios ley 1715 del 2014

La naturaleza del proyecto fotovoltaico se clasifica como: proyecto de infraestructura social, esto aplica cuando se lleven a cabo funciones en materia de educación, ciencia y tecnología, cultura, deporte, salud, seguridad social, urbanización, vivienda y asistencia social, siendo los recursos de origen estatal.

La relación beneficio-costo es también conocida como la eficiencia de la inversión, este es un indicador económico de muy fácil aplicación, comprensión y comunicación, una definición simple de este es la relación existente entre lo que obtengo a partir de lo que invierto. Siendo así esta relación queda definida como el cociente del valor presente neto, sobre el monto de capital inicial asignado. La regla de aprobación de una inversión bajo el criterio de la relación costo-beneficio parte de la premisa de que los beneficios deben exceder siempre a los costos, es decir, si la B/C es mayor que 1 el proyecto es favorable, es capaz de generar ganancias a partir de la inversión (Vasquez, 2010).

Relación Beneficio – costo = VPN / Inversión inicial

Formula 2

Por el contrario, si la relación es menor que 1, el proyecto no es capaz de cubrir la totalidad de sus gastos, por lo que la rentabilidad del proyecto se muestra desfavorable. Si la B/C es igual a 1 se considera que, los beneficios y los costos se igualan, cubriendo apenas el costo mínimo, atribuible a la tasa de descuento. La selección de un proyecto por medio del análisis de este indicador en particular, obviamente es la obtención de un B/C >1, pero también depende la naturaleza del proyecto para considerar la aprobación de un proyecto con B/C=1, por ejemplo si se trata de un proyecto estatal o del gobierno con fines sociales como la construcción de un hospital, de una escuela, entre otros, este puede ser aprobado. En cambio con los proyectos de inversión privada, los criterios podrían variar pero desde luego la relación debe ser mucho mayor que 1, debido a que la primera comparación que se hace es considerar el beneficio que se obtendría si el capital de inversión se colocara en una institución bancaria, si el beneficio es menor o igual a los réditos que arroja el banco casi siempre se desecha el proyecto. (Vasquez, 2010)

Se utilizó la hoja Excel, diseñada por la empresa TWSOLAR, con el fin de obtener el VPN y TIR y en función de dichos resultados concluir desde la naturaleza social del proyecto.

Según para este caso si fuera un proyecto particular (privado) podría aplicar a los siguientes beneficios:

- Valorización del bien inmueble vivienda / establecimiento.
- Exclusión del IVA (artículo 12).

Podrá optar por una de las siguientes dos opciones:

- Deducción en el impuesto de la renta hasta el 50% de la inversión FV en un plazo de 5 años (según artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014).

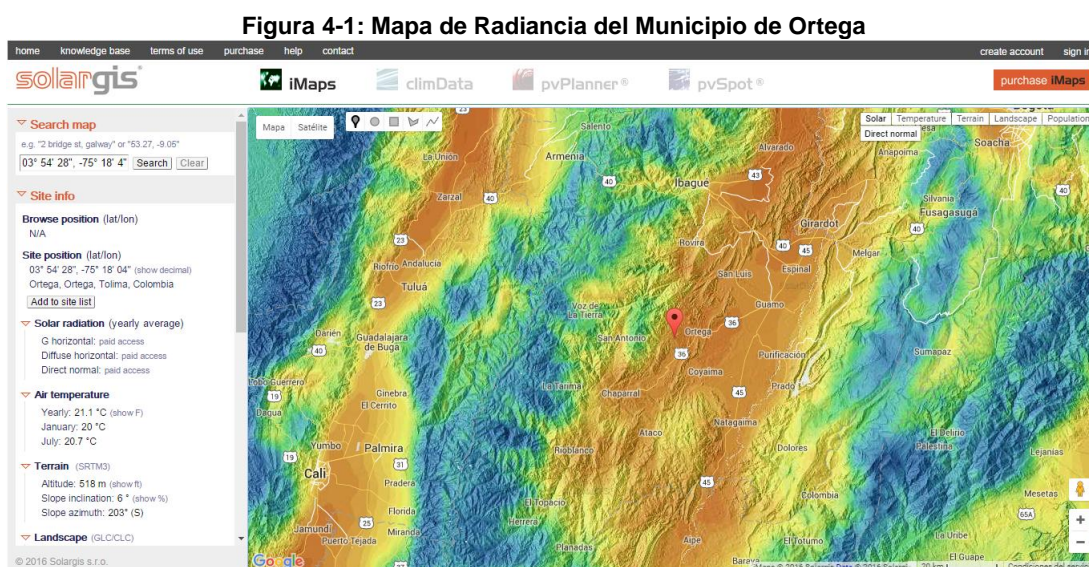
Para poder disponer de dicha deducción se requiere tramitar el certificado de beneficio ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Podrá acogerse al régimen de depreciación acelerada hasta el 20% anual respecto de los importes invertidos en maquinaria, equipos y obras (según artículo 14 de la ley 1715 de mayo 2014).

4. RESULTADOS

4.1 Resultados del análisis de Recurso primario (Irradiación)

A continuación se pueden observar los mapas de radiación solar y temperatura del municipio de Ortega - Colombia obtenidos de SolarGIS (Figura 3-5).



Fuente: (Solargis, 2016)

Características deseables que debe tener una base de datos meteorológicos: Para garantizar un mínimo aceptable de fiabilidad en las simulaciones de producción se especifican a continuación las características deseables:

- La incertidumbre para cualquier punto geográfico no debe ser mayor a -15% ; El histórico de datos debe tener al menos 10 años; La resolución temporal de los datos debe ser al menos horaria, siendo preferible que se puedan obtener datos en intervalos de tiempos menores (por ejemplo 30 min); Como mínimo debe contener datos de las siguientes variables: radiación global horizontal, radiación difusa y temperatura ambiente; La resolución espacial debe ser como máximo de 5 km; La temperatura media del aire debe ser a 2 m de altura con respecto al suelo; Debe permitir el cálculo o aportar series de datos con probabilidades de excedencia superiores al 50%.

Cualquier base de datos que cumpla con estos requisitos puede aceptarse como fiable.
Estos requisitos los tiene SolarGis tal como se aprecia en las referencias aportadas por ésta:

Figura 4-2: Requisitos básicos de información fiable

SolarGIS v1.8 - description of the database

SolarGIS is high-resolution climate database operated by GeoModel Solar. Primary data layers include solar radiation, air temperature and terrain (elevation, horizon).

Air temperature at 2 m: developed from the CFSR and GFS data (© NOAA NCEP, USA); years: 1994 - 2011; recalculated to 15-minute values. The data are spatially enhanced to 1 km resolution to reflect variability induced by high resolution terrain.

Solar radiation: calculated from the satellite and atmospheric data:

- Meteosat PRIME satellite (© EUMETSAT, Germany) 1994 - 2010, 15-minute or 30-minute values for Europe, Africa and Middle East,
- Meteosat IODC satellite (© EUMETSAT, Germany) 1999 - 2011, 30-minute values for Asia,
- GOES EAST satellite (© NOAA, USA) 1999 - 2012, 30-minute, partially 3-hourly values for Americas,
- MTSAT satellite (© JMA, Japan) 2007 - 2012, 30-minute values for Pacific,
- MACC (© ECMWF, UK) 1994 - 2012, atmospheric data,
- GFS, CFSR (© NOAA, USA), 1994 - 2012, atmospheric data.

This estimation assumes a year having 365 days. More information about the data and underlying uncertainty can be found at: <http://solargis.info/doc/116>.

Fuente: (Solargis, 2016)

Irradiación solar: primera etapa consiste en determinar el potencial de generación de energía eléctrica que tiene la zona a partir del recurso solar, para esto se toma de base información de la radiación solar de Colombia originados por SolarGIS © 2015.

Figura 4-3: Irradiación solar de la zona

	Gh kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Enero	157	69	135	24,4	19,1	1,8
Febrero	140	65	108	24,5	19,3	1,8
Marzo	155	79	105	24,4	19,7	1,7
Abril	150	74	111	24	19,8	1,6
Mayo	147	70	116	24	20,1	1,6
Junio	147	67	129	24,4	19,4	1,6
Julio	156	70	131	24,9	18,1	1,9
Agosto	170	69	146	25,3	17,6	2,1
Setiembre	164	70	135	24,8	18,6	2,1
Octubre	160	85	111	23,7	19,3	2
Noviembre	137	65	109	23,6	19,4	1,8
Diciembre	150	74	114	23,9	19,4	1,7
Año	1833	857	1447	24,3	19,1	1,8

Fuente: (Solargis, 2016)

La irradiación horizontal del sitio está sobre los 4 a 4.5 kWh/m²/día o lo que corresponde a unos 1833 kWh/m²/año que se aproxima a los valores de la base de dato se tomaran de base los valores de estos últimos ya que se centran más en el área de trabajo y consideran las características geográficas de manera más aproximada. Las horas de sol al día para la zona están entre 3 y 5 horas como promedio anual que determina según la base de datos de *UPME*.

4.2 Resultados del diseño del sistema FV

4.2.1 Valores de Consumos día y mes de energía eléctrica

Para nuestro caso se utilizó el software informático PVSYST v6.44, y fue aplicado para el ejercicio académico, “dimensionamiento del sistema aislado de la red convencional” (Anexo 3).

Figura 4-4: Consumos día y mes de energía eléctrica

Definition of Daily Household consumptions, year						
Consumptions Hourly distribution						
Daily consumptions						
Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy	
1	Tv	55 W/lamp	6.0 h/day	OK	330 Wh	
1	nevera	160 W/app.	24.0 h/day	OK	3840 Wh	
3	bombillo led 2800 k 10 w ir	10 W/app.	4.0 h/day	OK	120 Wh	
2	bombillo led 2800 k 10 w e	0.07 kWh/day	7.0 h/day	OK	140 Wh	
1	ventilador	100.0 W aver.	7.0 h/day	OK	700 Wh	
1	toma corriente	70 W/app.	2.0 h/day	OK	140 Wh	
4	cargador Celular	5 W/app.	1.0 h/day	OK	20 Wh	
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		48 Wh	
Appliances info					Total daily energy	
					5338 Wh/day	
					Total monthly energy	
					160.1 kWh/month	
Consumption definition by		Week-end or Weekly use				
<input checked="" type="radio"/> Year		<input type="checkbox"/> Use only during				
<input type="radio"/> Seasons		7 days in a week				
<input type="radio"/> Months						

Fuente: (PVSYST)

Al ingresar al sistema del programa PVSYST, y en función de la variable horas de uso arrojé los siguientes resultados:

- Wh/día: **5338**
- kWh/mes: **160,1**

El resultado obtenido es menor al Consumo de subsistencia: 173 kWh/mes según Resolución 355 de 2004 MME, para municipios cuya altura sea inferior a 1000 msnm, aplicando de esta manera a las consideraciones técnicas del Ministerio de Minas y Energía, lo que no incurriría en un sobredimensionamiento del sistema a diseñar.

4.2.2 Resumen de los resultados arrojados (PVSYST)

Resultados finales empleando la herramienta informática PVSYST que nos permite escoger una gran variedad de componentes que se encuentran en el mercado actualmente (Ver Anexo 3): El sistema para cubrir el 100% de la demanda anual de 1956 kWh/año.

El programa PVSYST arrojó los siguientes resultados (Figura 4-1):

Tabla 4-1: Resumen resultados dimensionamiento sistema fotovoltaico

Ubicación Geográfica	Vereda San Roque Ortega - Tolima
Coordenadas	Latitud 3.9°N Longitud 75.3°W
Datos de radiación	4 a 4.5 kWh/m ² /día - 1833 kWh/m ² /año
Parámetro de sistema	Aislado
Requerimientos de potencia	2,56 kWp
Información Requerida	Sistema puesto en el techo vivienda
Azimut de los paneles	20°
Inclinación de los paneles	30°
Tipo de modulo	Marca TRINA TSM-320PEG14
Numero de Módulos FV en serie	4 módulos en paralelo 2 cadenas
No total de Módulos FV (módulos)	8
Área de influencia en m ²	15,7
Potencia Global de generador	2560 Wp

Tipo de inversor	Universal controller
Tipo de almacenamiento (Baterías)	Solar S12/6.6 S

Fuente: (PVSYST, 2016)

De esta forma queda un sistema definido por 2 cadenas de 4 módulos en serie. Con una superficie de módulos de unos 15.7 m². La tensión máxima del sistema en el punto de máxima potencia (a una temperatura de 50 °C).

4.2.3 Pérdidas de producción de la instalación solar fotovoltaica

PVSYST da como resultado las pérdidas serán variables a lo largo del año; no existen pérdidas por sombrero. Para ello el sistema debe estar en el techo, con una inclinación de 30° respecto al horizonte (Ver Anexo 3). Al tener el sistema un Azimut 20° debido a la ubicación hipotética de la vivienda rural. En cambio, existen pérdidas térmicas, pérdidas Óhmicas, de polvo y suciedad, etc.

Dada la dimensión del proyecto se han estimado los siguientes factores de pérdida:

Pérdida óhmica en el cableado: 1.5 en STC

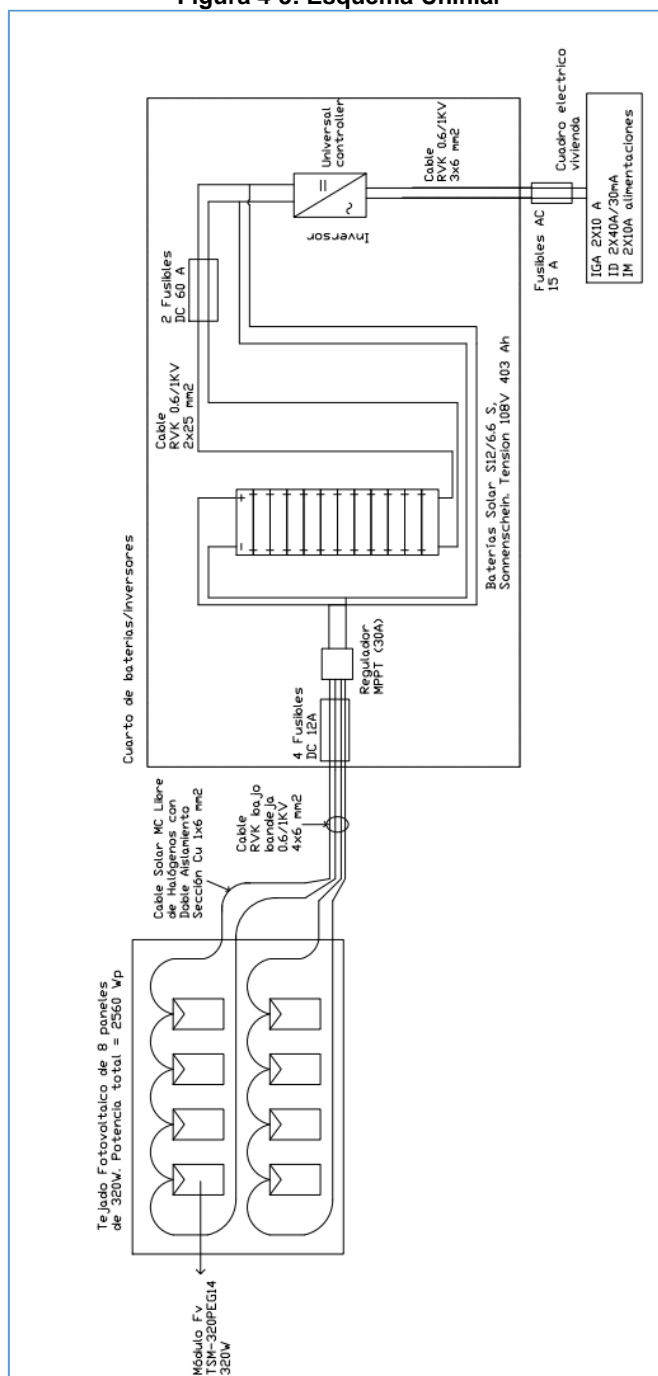
Pérdida en la calidad del módulo: -0.4%

Pérdida por "Mismatch" de los módulos: 1% en MPP

Efecto de incidencia en el módulo: 0.05

4.2.4 Esquema unifilar de acuerdo al dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Figura 4-5: Esquema Unifilar



(Fuente: TwSolar, 2016)

4.3 Resultados de la evaluación del beneficio ambiental (CO₂)

Según la Resolución 91304 de 2014 en su Artículo 1o. "Adoptar el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional de 0,374 TonCO₂/MWh. En el caso de la ZNI la percepción positiva es un tanto más significativa debido a que en dichas regiones se produce energía principalmente con diésel. Se tomó en cuenta para realizar el cálculo de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de los proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El cálculo del ahorro de emisiones de CO₂ se obtuvo mediante la generación de kW que se espera el sistema tenga durante su vida útil (25 años), aplicando el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional que tiene un valor de:

Factor marginal de emisión: 0,374 TonCO₂/MWh.

A continuación se realiza un ejercicio de reducción de emisiones de CO₂, el cual nos da a conocer el número de toneladas que se dejarían de emitir al involucrar el sistema fotovoltaico dimensionado anteriormente.

- **Generación esperada de energía vida útil :**

$$(1956 \text{ Kwh/año}) * (25 \text{ años}) = 48900 \text{ Kwh} =$$

- **Generación esperada de energía en Mw =**

$$(48900 \text{ Kwh}) * (1\text{Mwh}/1000\text{Kwh}) = 48,9 \text{ Mwh}$$

- **Formula reducción de CO₂:**

$$\text{Electricidad generada} \times \text{Factor marginal de emisión CO}_2 \text{ (TonCO}_2\text{/Mwh)}$$

$$\text{Reducción de CO}_2: 48,9 \text{ Mwh} \times 0,374 \text{ TonCO}_2\text{/Mwh}$$

Reducción de CO₂ (25 años): 18,2886 Toneladas de CO₂

Tabla 4-2: Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos

	Consumo 25 AÑOS	Unidades de medida física	Factor de emisión (Kg de CO ₂ eq/kWh)		Kg de CO ₂ eq
Electricidad	48900	kWh	0,374	Kg de CO ₂ eq/kWh	18288,6

Fuente: Hoja de cálculo (Fondo europeo de desarrollo regional – Unión Europea)⁶

Un solo sistema fotovoltaico en la Vereda San Roque estaría favoreciendo a reducir la emisión de 18,3 toneladas de CO₂ a la atmosfera durante el periodo de vida útil de 25 años. Si aplicáramos a las 12 viviendas no conectadas a la red tendríamos la cantidad de 219,46 toneladas sin emitir al ambiente de CO₂ en 25 años.

De acuerdo a los resultados emitidos por la hoja de Excel Análisis de rentabilidad de TWSOLAR (Ver Anexo No.) y en función de la base de datos nos arrojó la siguiente información:

Tabla 4-3: Balance Medio Ambiental

BALANCE MEDIOAMBIENTAL	
CANTIDADES QUE DEJAN DE EMITIRSE A LA ATMOSFERA (1)	
Kilos de CO ₂ al año:	1.296,13
Tons. CO ₂ en 25 años:	24
Kilos de NO _x al año:	0,16
oxido de nitrogeno	
Masa forestal necesaria para absorber dicha emisión de CO ₂ :	3 Ha
Considerando el consumo medio de un hogar en españa: 2.125 kWh/año. N° de hogares abastecidos con esta instalación:	2
(1) Comparado con generación en central de ciclo combinado a gas	

Fuente: (Twsolar, 2016)

⁶ <http://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls>

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo, siglas en Ingles (EPA)⁷, a quema de un barril de petróleo genera 0,433 ton CO₂ y la captura de CO₂ durante el ciclo productivo de un árbol sembrado varía entre 0,107 - 0,463 ton CO₂. El Estudio de evaluación de opciones de mitigación que está siendo desarrollado por Banco Mundial y el DNP (Departamento Nacional de Planeación) estima, con datos locales para diferentes especies comerciales, que la captura durante el ciclo productivo de un árbol varía entre 0,133 - 0,947 ton CO₂.

Tomando de base que la quema de un barril genera 0,433 ton CO₂ y si tenemos en cuenta al final del ciclo productivo de un árbol su captura es de 0,463 ton de CO₂, estaríamos definiendo que estaríamos muy cerca a que por cada quema de barril, un árbol estaría capturando casi la misma cantidad de emisión de CO₂. La relación estaría 1:1.

- La cantidad de energía generada del sistema FV en los 25 años: 18,3 Ton
- Número de árboles aproximados por generación de energía Solar: 40 arboles
- Número de barriles consumidos según la generación de energía Solar: 42 barriles de Crudo.

⁷ (<http://www.epa.gov/sequestration/rates.html>
[http://www.epa.gov/green power/pubs/calcmeth.htm](http://www.epa.gov/green_power/pubs/calcmeth.htm))

4.3.1 Resultados evaluación económica y aplicabilidad de beneficios ley 1715 del 2014

Se tomó de referencia los costos emitidos por la empresa América Fotovoltaica (Ver Anexo 2) y se complementó con información técnica de la empresa TWSOLAR España, con lo cual se busca llevar a cabo el trabajo académico y evaluación económica de la inversión social del proyecto.

Tabla 4-4: Tabla de costos de sistema fotovoltaico Hipotético

COSTO GENERAL SISTEMA FOTOVOLTAICO MUNICIPIO DE ORTEGA TOLIMA					
ITEM 1	COMPONENTES SISTEMA SV	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1.1	Estructura Panel Solar.	UND	1	\$ 5.514.702	\$ 5.514.702
1.2	Gabinete y Baterías	GL	1	\$ 5.096.750	\$ 5.096.750
1.3	Puesta a tierra del sistema	GL	1	\$ 464.440	\$ 464.440
1.4	Monitoreo y supervisión del sistema solar	UND	1	\$ 362.696	\$ 362.696
COSTO UNITARIO DEL ITEM:					\$ 11.438.588
ITEM 2	COMPONENTE SISTEMA DE ILUMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2.1	Sistema de Iluminación	UND	1	\$ 625.329	\$ 625.329
COSTO UNITARIO DEL ITEM:					\$ 625.329
TOTAL COSTOS INCLUIDO IVA					\$ 12.063.917

Fuente: Adaptado por el Autor

Para complementar el estudio, se simulo con hoja Excel (Ver Anexo No.1) de la empresa TWSOLAR, que de acuerdo a la información base se obtuvieron los siguientes resultados:

ITEM	Valores
Costo de la instalación:	\$ 12.063.917 cop.
El costo de instalación por Kilovatio de potencia pico es de:	\$ 4.712.468 cop.
El kilovatio de Potencia Pico es de:	2,56 kw
Valor presente neto (VPN) sin crédito es de:	-\$ 558.855 cop.
Tasa interna de retorno (TIR):	15,19

Tiempo 20 años

- Según la ley 1715 del 2014 aplicaría la Exclusión del IVA (artículo 12), lo que cambiaría el costo de la inversión inicial.

ITEM	Valores
Costo de la instalación:	\$ 10.133.690 cop.
El costo de instalación por Kilovatio de potencia pico es de:	\$ 3.958.473 cop.
El kilovatio de Potencia Pico es de:	2,56 kwp
Valor presente neto (VPN) sin crédito es de:	\$1.371.342 cop.
Tasa interna de retorno (TIR):	18,3%
Tiempo	20 años

En conclusión a lo anterior, el sistema fotovoltaico no estaría dentro de las condiciones financieras favorables para un inversionista. A pesar de ello en la gráfica sin crédito recupera el recurso en el año 6 y se mantiene hasta la vida útil del sistema FV (Ver Anexo 1).

Ahora bien, dada la naturaleza del proyecto de inversión social tendríamos el siguiente ejercicio COSTO - BENEFICIO:

Relación Beneficio – costo = VPN / Inversión inicial

ESCENARIO 1	Relación Beneficio – costo =	-\$ 558.855 / \$ 12.063.917
	Relación Beneficio – costo =	0,0463
ESCENARIO 2	Relación Beneficio – costo =	\$1.371.342 / \$ 10.133.690
	Relación Beneficio – costo =	0,1353

De acuerdo a la anterior relación costo beneficio, el proyecto es socialmente conveniente ya que tiene a favor los siguientes aspectos técnicos: Capacidad de independencia de la red eléctrica

(hasta en un 100%), Puede entregar energía eléctrica en sectores remotos donde no exista servicio eléctrico; Es una alternativa en caso de crisis energética, además es una ayuda frente a los incrementos del costo de la energía; Dependiendo del tamaño de la instalación, se puede transformar en una fuente de ingresos, por el concepto de venta de energía; Fuente de generación limpia y renovable. Reduce el efecto invernadero, no produce contaminación térmica ni emisiones de CO₂; Instalación relativamente rápida; Es posible instalarlos en cualquier lugar donde se disponga de luz solar; Baja mantención; Bajo impacto visual.

5. CONCLUSIONES

- El impacto ambiental es menor al implementar los sistemas fotovoltaicos versus otras fuentes de energía. En la fase de fabricación los efectos ambientales negativos se presentan debido a los consumos de energía convencional, emisiones de sustancias contaminantes, impacto visual, etc.
- La generación de energía a partir de sistemas solares tiene ventajas comparativas frente a otros tipos de energías a la elevada calidad energética, la reducción de emisiones de CO₂, que de acuerdo con los resultados “un sistema produce 1956 kWh al año como fuente de energía solar y evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 730 kilos de CO₂.
- La instalación del sistema fotovoltaico aislado proveerá la oportunidad a la comunidad de las nuevas tecnologías como por ejemplo uso de equipos de informática, acceso a internet, comunicación en tiempo real, capacitación de la base social en las áreas que fortalezcan los conocimientos tanto en teoría como práctica según el área a fortalecer, siendo más competitivos mejorando productividad y la calidad de los servicios y productos.
- En zonas no interconectadas la implementación del sistema ayudara de manera significativa la reducción en el consumo de combustibles fósiles (generación de emisiones por el uso de plantas eléctricas), reducción en el consumo de recursos naturales (leña), reducción de riesgos para la salud humana en la inhalación de humo o sustancias tóxicas y trae consigo una serie de cambios que van más allá de la solución técnica, dando seguridad de suministro de energía mediante el sistema fotovoltaico y solucionando el problema del servicio deficiente de energía.
- El sistema fotovoltaico provee como mecanismo el acceso a los medios de comunicación como televisión, teléfono, internet, etc... reduciendo el aislamiento social ayudando a la globalización y dando la posibilidad de interrelacionarse e identificarse con situaciones

actuales y de importancia económica, social, ambiental y política en nuestro territorio nacional.

- El principal obstáculo para el uso generalizado de la energía renovable es el elevado costo inicial, especialmente de la instalación de los equipos, más aún si se tiene en cuenta que los recursos económicos de las personas que más necesitan la tecnología frecuentemente las familias rurales son limitados.
- El fortalecimiento de la capacidad, la promoción de condiciones propicias, la formulación de marcos normativos y el aumento de la demanda de TER (Tecnologías de energía renovable) pueden contribuir a mitigar en cierto grado los elevados costos de transacción y los mercados subdesarrollados.

6. REFERENCIAS

- AIE. (1 de Noviembre de 2012). *Informe: Agencia Internacional de Energía*. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Agencia Internacional de Energía: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Spanish.pdf>
- Alcaldía de Ortega. (14 de 05 de 2016). *Alcaldía de Ortega: Nuestro Municipio, Territorios*. Obtenido de Alcaldía de Ortega Tolima: <http://www.ortega-tolima.gov.co/territorios.shtml?apc=bbVereda-1-&x=2146165>
- Americafotovoltaica. (2016). <http://www.americafotovoltaica.com/>.
- AMT-Solar. (13 de 05 de 2015). *Fotovoltaica: AMT-Solar*. Obtenido de AMT-Solar: <http://www.amt-solar.com/index.php/es/fotovoltaica>
- Asif. (2008). *Asociación de la Industria Fotovoltaica*. www.asif.org.
- Banco Mundial. (2011). *Indicadores del desarrollo mundial. Datos que se refieren al consumo de energía y la Contaminación*.
- Becquerel, E. (1867). *La lumière: ses causes et ses effets, tome second*. Paris.
- EPIA. (2014). *Global market outlook for photovoltaics 2014 - 2018*.
- ESTEVE G, N. (2011). *energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. bogota: universidad javeriana.
- FEDESARROLLO. (2013). *Análisis costo beneficio de energías renovables*.
- Fernandez, J. (2008). *Compendio de Energía solar: Fotovoltaica, Termica y Termoelectrica*. Madrid: mundi-prensa.
- Fonroche. (2015). *Consultoría para establecer una metodología para el cálculo de energía firme de una planta solar*.
- Galviz G., J. S., & Gutierrez G, R. (2013). *Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en nazareth corregimiento del municipio de uribia, departamento de la guajira – colombia*.
- Garcia, A. (2012). *Siembra de cultivos forestales y sistemas agroforestales como una forma de proyectar económica y ambientalmente la explotación petrolera*. Bogota.
- gpodelaconcha.com.mx, e. (2014). *Energía Verde*.
- IBAÑEZ. (2012). *Instalación fotovoltaica conectada a red integrada*.
- IEEE. (1991). *Recommended criteria for terrestrial photovoltaic power systems*. New York.
- OEA, O. d. (1987). *Directrices para la planificación del uso de entornos de América del Trópico Húmedo*.

- OLADE, O. L. (2011). *Las ernc en la industria chilena y algunas aplicaciones*.
- ONU. (2012). *Ciudad Medio Ambiente y educacion*.
- Parra-Peña S, R. I., Ordoñez A, L., & Acosta M, C. (2013). Pobreza, brechas y ruralidad en Colombia. *Coyuntura Economica*, 15-32.
- Pelino, V. D. (2009). *Trabajo didáctico LA ENERGÍA*.
- PhoenixSolar. (2014). *Phoenix Solar*; file:///C:/Users/Sol%20Valeria/Downloads/sistemas_aislados.pdf.
- PNUD. (2011). *Informe Sobre Desarrollo Humano Colombia 2011. Colombia Rural, Razones para la Esperanza*. Bogota D.C.: PNUD.
- Presidencia de la Republica de Colombia. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014. Prosperidad para Todos*.
- PVSYST. (2016).
- REN21. (2014). *Renewables 2014 Global Status Report*.
- Rodriguez M., H. (2009). Desarrollo de la energia solar en Colombia y sus perspectivas . *Revista de Ingenieria*, 83-89.
- SGIC-FNCER. (2016). *El Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable* .
- Smil, V. (1991). *General Energetics Energy in the Biosphere and Civilization*. New York: John Wiley.
- Suares R., A. F. (2010). *Diseño y analisis del esquema de conexion de un sistema fotovoltaico a la red de baja tension en zona Rural*. Bogota D.C.: Universidad de los andes.
- Sunedison. (13 de 05 de 2015). *Energia Solar Fotovoltaica: Sunedison*. Obtenido de Sunedison: <http://www.sunedison.es/energia-solar-fotovoltaica/>
- TOLEDO. (2013). *Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia*.
- TW Energy. (15 de Enero de 2016). *Energia Electrica: TW Energy*. Obtenido de Sitio web de TW Energy: <http://twenergy.com/energia/energia-electrica>
- Twsolar. (2014). *LLano Sanchez 10 MW*. Panama.
- UPME. (2008). *CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA*.
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogota D.C.: Unidad de Planeacion Minero Energetica.

UPME. (13 de 05 de 2015). *SIG UPME*. Obtenido de Sitio web de la UPME:
<http://sig.simec.gov.co/SitiosUpme/#>

UPME. (2016). *Registro de Proyectos de Generación*. Bogota D.C.

Vaisala. (2015). Obtenido de Vaisala maps:
http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Scientific%20papers/Vaisala_global_solar_map.pdf

Vasquez, M. (2010). *Impactos del regimen fiscal en los proyectos de exploración y explotación de Hidrocarburos*.

www.extremetech.com. (2015). \$ 0,55 por vatio del nuevo panel solar récord de SolarCity.

ANEXO 1.HOJA EXCEL TWSOLAR

Cálculo de la Producción de Energía Anual

0. A rellenar sólo las celdas grises
 Las celdas de Orientación e Inclinación, y la de emplazamiento de la Instalación son de espejables para ser ecolonar. El resto de celdas grises son para rellenar.

Nombre del proyecto: San Roque - Ortega Tolima kWp

2.56

1. Obtener la Radiación Global Horizontal en Wh/m². día

1.1 Seleccionar un emplazamiento en la lista y anotar el valor de Gh en la casilla correspondiente.

Emplazamiento de la instalación	Ortega
Radiación Global Horizontal Gh (*)	5 kWh/m ² . día
Radiación Global Horizontal Gh (PVSY ST)	1.825,00 kWh/m ² . año
Latitud	3,90°

1.2 Si no se encuentra, y se dispone de Internet, tomar el valor de Gh y anotarlo en la pestaña "Radiación" al final de la lista.

<http://re.jrc.ec.eu.int/pvgis/apps/radmonth.php>

(*) Fuente de Información: PVGIS desarrollado por JRC (Joint Research Center) de la EC (European Commission)

2. Seleccionar Orientación e Inclinación de los módulos

Orientación	30 deg
Inclinación	20,00 deg
Factor corrección	92,84%
G _a (α,β) Incidencia en plano colector (PVSY ST)	1694,30 kWh/m ²
PR _e referencia estimado de equipos	79,9%
SY _e (Producción específica)	1.353,75 kWh/kWp

3. Definir pérdidas extra

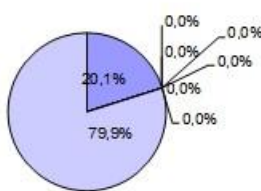
Downtime (Indisponibilidad de la planta)	0,00%
Dependerá estrictamente del servicio de mantenimiento y del tiempo de respuesta	
Soiling/dirt (Suciedad en los módulos)	0,00%
Bajo 0,50%	Entornos limpios de polvo y polución y/o con servicio amplio de mantenimiento de la instalación
Medio 2,50%	Entornos con suciedad moderada y/o con servicio medio de mantenimiento
Alto 5,00%	Entornos muy sucios y/o sin servicio de mantenimiento
Shadow (Sombras)	0,00%
En algunos casos puede llegar a alcanzar pérdidas mayores 10%, influyendo en gran medida en la producción total anual	
Degradation (Degradación anual de los módulos)	0,80%
No incluido en el PR final sino considerado en el análisis de flujo anualmente	
MT transformación	0,00%
100 kVA	1,70%
630 kVA	1,00%
Pérdidas térmicas adicionales según tipo de instalación	0,00%
Fija, integrada en cubierta	3,00%
Console sobre cubierta plana	2,00%
Fija, directa sobre cubierta tipo sandwich	0,00%
Fija, en estructura inclinada	0,00%
Cableado en AC (después del inversor)	0,00%

4. Total Annual Energy Production

SYG global de la instalación:	1.353,75	kWh/kWp
PRG global de la instalación:	79,90%	

PR (pérdidas asociadas a los equipos y la instalación)	
IAM (Incidence Angle Modifier)	Array virtual energy at MPP
Effective Incidence on collectors (ETC)	Inverter efficiency
Array Nominal Energy (SFO)	Inverter Loss over nominal Inu. Power
PV loss due to irradiance level	Inverter Loss due to power threshold
PV loss due to temperature	Inverter Loss over nominal Inu. Voltage
Module quality loss	Inverter Loss due to voltage threshold
Module array mismatch loss	
Cable wiring loss	

PRODUCCIÓN	
79,9%	PR referencia equipos y sistema FV
20,1%	Pérdidas por PR referencia
0,0%	Indisponibilidad de la planta
0,0%	Suciedad
0,0%	Sombras
0,0%	MT transformación
0,0%	Pérdidas TP por tipo instalación
0,0%	Cableado AC inversor-contador
79,9%	ENERGIA INYECTADA A RED
20,1%	Pérdidas totales

RENTABILIDAD INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS FIJAS SIN CONEXIÓN A RED 2016			
CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN:			
PROYECTO: San Roque - Ortega Tolima			
UBICACIÓN: Ortega			
Latitud:	03,9° N	RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL	$G_{dm}(0)$: 5 Wh/m ² /día
Longitud:	-75,2° N		$G_a(0)$: 1.825,00 kWh/m ² /año
Altura (snm):	513m	AZIMUT (α):	30°
		INCLINACIÓN (β):	20°
β_{opt} (°):	07,0°	POTENCIA PICO INSTALADA (CEM):	02,56 kWp
ANÁLISIS ENERGÉTICO			
Factor de corrección para plano generador (β):	92,84%		
RADIACIÓN GLOBAL SOBRE SUPERFICIE INCLINADA:	$G_a(\alpha, \beta)$:	1.694,30	kWh/m ² /año
Indisponibilidad de la planta (anual):	0,00%		
PR _{ref} : Performance Ratio de referencia estimado de sistemas y equipos:		79,9%	
PR_G: Performance Ratio global de la instalación:		79,9%	
PRODUCCIÓN ESPECÍFICA:		1.353,75	kWh/kWp/año
PRODUCCIÓN ANUAL DE LA INSTALACIÓN:		3.465,59	kWh/año
Degradación anual de los módulos:		0,80%	
ANÁLISIS DE RENTABILIDAD (Pesos colombianos \$)			
PRECIO:	4.712.468 \$ ^{colomb} /Wp	COSTE TOTAL:	12063917
Coste Total "llave en mano" (incl. material, instalación, conexión)			
COSTES O&M:	4% de los ingresos	SEGUROS:	0,30%
Operación, Mant. Preventivo + Mant. Correctivo		Seguros Resp. Civil + Todo Riesgo	
TARIFA PRODUCCIÓN FV 1^o 25 años (<100kW):	496,00	\$/kWh	
Tarifa Producción FV años posteriores (<100 kW):		\$/kWh	
IPC PREVISTO:	2,5%		
INCREMENTO ANUAL DE TARIFA:	3,5%		
TOTAL INGRESOS ANUALES POR PRODUCCIÓN (AÑO 0):		\$	1.779.095
CON UN APALANCAMIENTO DEL	0%	TIR	73,35% A 25 AÑOS
SIN APALANCAMIENTO		TIR	15,19% A 25 AÑOS
BALANCE MEDIOAMBIENTAL		CANTIDADES QUE DEJAN DE EMITIRSE A LA ATMÓSFERA (1) Kilos de CO ₂ al año: 1.296,13 Tons. CO ₂ en 25 años: 24 Kilos de NO _x al año: 0,16 óxido de nitrógeno Masa forestal necesaria para absorber dicha emisión de CO ₂ : 3 Ha Considerando el consumo medio de un hogar en España: 2.125 kWh/año. N° de hogares abastecidos con esta instalación: 2	
(1) Comparado con generación en central de ciclo combinado a gas			
PLAN DE FINANCIACIÓN			
Coste total:	12063917,00	VAT 16%:	193022,67
TOTAL BRUTO:	\$	12.256.939,67	
PRESTAMO:	0%	0,00	12063917,00 INVERSIÓN CON FONDOS PROPIOS
DURACIÓN:	0	AÑOS	
INTERES TIPO FIJO:	0,0%		
RELATIVO A ESTE ANÁLISIS			
▶ Este modelo ha sido elaborado con el único fin de realizar una estimación de rentabilidades; la rentabilidad obtenida está basada en el cumplimiento de hipótesis y variables ▶ El valor estimado para el PR de referencia está calculado en base a los últimos proyectos realizados por TWSOLAR SOLAR ▶ El valor de producción obtenido con el software PVSYST puede diferir del resultado de este estudio. Esto es debido a que se toman distintas fuentes de radiación.			

RENTABILIDAD INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS FIJAS SIN CONEXIÓN A RED 2016				
CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN:				
PROYECTO: San Roque - Ortega Tolima				
UBICACIÓN: Ortega				
Latitud:	03,9° N	RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL	$G_{dm}(0)$:	5 Wh/m ² /día
Longitud:	-75,2° N		$G_a(0)$:	1.825,00 kWh/m ² /año
Altura (snm):	513m	AZIMUT (α):	30°	
		INCLINACIÓN (β):	20°	
β_{opt} (°):	07,0°	POTENCIA PICO INSTALADA (CEM):	02,56 kWp	
ANÁLISIS ENERGÉTICO				
Factor de corrección para plano generador (β):	92,84%	RADIACIÓN GLOBAL SOBRE SUPERFICIE INCLINADA:		
$G_a(\alpha, \beta)$:	1.694,30 kWh/m ² /año			
Indisponibilidad de la planta (anual):	0,00%			
PR _{ref} : Performance Ratio de referencia estimado de sistemas y equipos:	79,9%			
PR _G : Performance Ratio global de la instalación:	79,9%			
PRODUCCIÓN ESPECÍFICA:	1.353,75 kWh/kWp/año			
PRODUCCIÓN ANUAL DE LA INSTALACIÓN:	3.465,59 kWh/año			
Degradación anual de los módulos:	0,80%			
ANÁLISIS DE RENTABILIDAD (Pesos colombianos \$)				
PRECIO:	4.712.468 \$ ^{colomb} /kWp	COSTE TOTAL:	12063917	
Coste Total "llave en mano" (incl. material, instalación, conexión)				
COSTES O&M:	4% de los ingresos	SEGUROS:	0,30%	
Operación, Mant. Preventivo + Mant. Correctivo		Seguros Resp. Civil + Todo Riesgo		
TARIFA PRODUCCIÓN FV 1 ^o 25 años (<100kW):	496,00 \$/kWh			
Tarifa Producción FV años posteriores (<100kW):	2,5% \$/kWh			
IPC PREVISTO:	2,5%			
INCREMENTO ANUAL DE TARIFA:	3,5%			
TOTAL INGRESOS ANUALES POR PRODUCCIÓN (AÑO 0):	\$ 1.779.095			
CON UN APALANCAMIENTO DEL 0%:	TIR	73,35%	A 25 AÑOS	
SIN APALANCAMIENTO:	TIR	15,19%	A 25 AÑOS	
BALANCE MEDIOAMBIENTAL				
CANTIDADES QUE DE JAN DE EMITIRSE A LA ATMOSFERA (1)				
Kilos de CO ₂ al año:	1.296,13			
Tons. CO ₂ en 25 años:	24			
Kilos de NO _x al año:	0,16			
óxido de nitrógeno				
Masa forestal necesaria para absorber dicha emisión de CO ₂ :	3 Ha			
Considerando el consumo medio de un hogar en España: 2.125 kWh/año.	Nº de hogares abastecidos con esta instalación:			2
(1) Comparado con generación en central de ciclo combinado a gas				
PLAN DE FINANCIACIÓN				
Coste total:	12063917,00	VAT 16%:	193022,67	
TOTAL BRUTO:	\$ 12.256.939,67			
PRESTAMO:	0%	0,00	12063917,00 INVERSIÓN CON FONDOS PROPIOS	
DURACIÓN:	0	AÑOS		
INTERES TIPO FIJO:	0,0%			
RELATIVO A ESTE ANÁLISIS				
► Este modelo ha sido elaborado con el único fin de realizar una estimación de rentabilidades: la rentabilidad obtenida está basada en el cumplimiento de hipótesis y variables ► El valor estimado para el PR de referencia está calculado en base a los últimos proyectos realizados por TWSOLAR SOLAR ► El valor de producción obtenido con el software PVSYST puede diferir del resultado de este estudio. Esto es debido a que se toman distintas fuentes de radiación.				

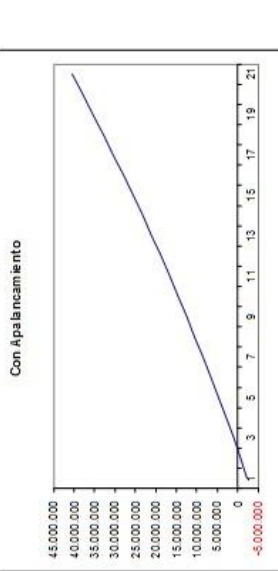
ANALISIS DE FLUJOS PARA SISTEMA S FV FIJOS ESCENARIO 2016

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
EBUJORDIO																							
Potencia Pico (kWp)	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	
Irradiación O _c (G) kWh/m ² /año	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	1.694,30	
PR ₁	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	79,9%	
kWh/kWp	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	1.352,75	
Degradación paneles																							
Producción (kWh)	3.608	3.498	3.410	3.323	3.258	3.208	3.168	3.138	3.108	3.078	3.048	3.018	2.988	2.958	2.928	2.898	2.868	2.838	2.808	2.778	2.748	2.718	
Tarifa (\$/kWh) pesos colombianos	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	
Porcentaje (kWh) pesos colombianos	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	
IPC	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	
Costo Medio IPC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Costo Medio IPC	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	3,50%	
Costo Medio IPC	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	10,4%	
Tarifa actualizada (\$/kWh) pesos colombianos	495,00000	513,30750	549,92407	593,17141	646,24655	709,33385	784,14327	872,07713	974,92566	1.095,61101	1.237,24822	1.404,379	1.592,624	1.811,50233	2.071,41660	2.378,17440	2.730,48000	3.140,14000	3.620,00000	4.184,00000	4.838,00000	5.598,00000	
Tarifa actualizada (\$) pesos colombianos	1.718.932	1.778.636	1.828.832	1.879.462	1.930.662	1.992.462	2.064.862	2.148.912	2.244.732	2.353.432	2.476.132	2.613.932	2.768.032	2.939.632	3.129.232	3.337.432	3.565.832	3.815.232	4.086.632	4.380.032	4.696.432	5.036.832	

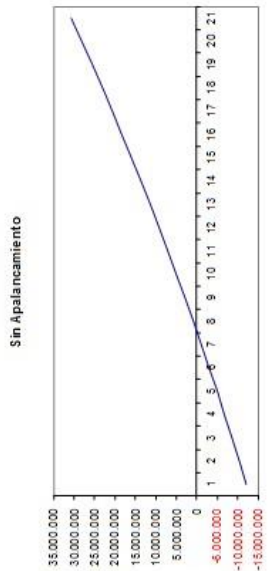
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Costes																						
OBM	71.154	71.065	70.976	70.887	70.798	70.709	70.620	70.531	70.442	70.353	70.264	70.175	70.086	69.997	69.908	69.819	69.730	69.641	69.552	69.463	69.374	69.285
Acuerdos/Contrato de suministro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seguros de VPP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Margen Explicación (\$) pesos colombianos	1.707.828	1.783.886	1.860.420	1.948.827	2.049.187	2.160.602	2.284.076	2.420.709	2.571.511	2.738.484	2.922.728	3.125.342	3.347.436	3.589.110	3.851.464	4.135.598	4.442.522	4.773.346	5.139.070	5.540.694	5.979.218	6.455.742

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
FISCALIDAD SIN APALANCAMIENTO																							
Impuesto Boleadoras (0%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Desgravación IIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Servicio de la Deuda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Amortización	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PROFES																							
FISCALIDAD CON APALANCAMIENTO																							
Impuesto Boleadoras (0%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ROED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortización Contable	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392
Cash Flow Sin Apalan.	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392	1.206.392
Cash Flow Con Apalan.	1.707.828	1.783.886	1.860.420	1.948.827	2.049.187	2.160.602	2.284.076	2.420.709	2.571.511	2.738.484	2.922.728	3.125.342	3.347.436	3.589.110	3.851.464	4.135.598	4.442.522	4.773.346	5.139.070	5.540.694	5.979.218	6.455.742
Saldo cuenta corriente (sin apalan.)	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52	-2.421.52
Saldo cuenta corriente (con apalan.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



VOI SIN PBI: -558.683
VOI CON PBI: 9.032.249



ANEXO 2. COTIZACION AMERICA FOTOVOLTAICA



Conceptos básicos

Autocconsumo eléctrica: Es generar electricidad para ser consumida por el mismo productor.

Panel solar o fotovoltaico (PV): Placas compuestas de células solares, construidas con obleas finas de silicio. El silicio es un elemento químico que se activa cuando recibe radiación solar.

Zona No Interconectada: Territorios apartados, de difícil acceso y distantes del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Inversor: Equipo encargado de convertir la energía que entregan los paneles solares (Voltaje DC) en energía útil para alimentar los electrodomésticos y equipos eléctricos (Voltaje AC).

Controlador: Es un dispositivo requerido únicamente cuando se utilizan baterías para almacenar la electricidad. El controlador es el encargado de asegurar la carga de las baterías.

Batería: Unidad que almacena la electricidad que se produce durante el día para consumirla en horas de la noche.

La Guía Solar: Es el blog de América Fotovoltaica donde compartimos ideas sobre las energías renovables. Visítenos en www.itsolunlar.com y haga sus propias aportaciones!

Datos de su instalación

Le recomendamos una instalación FV aislada a la red eléctrica de 1,00 Kw de potencia, con las características que detallamos en la Tabla 1. La producción eléctrica de la instalación FV será suficiente para abastecer consumos cotidianos que aparecen en la Tabla 2.

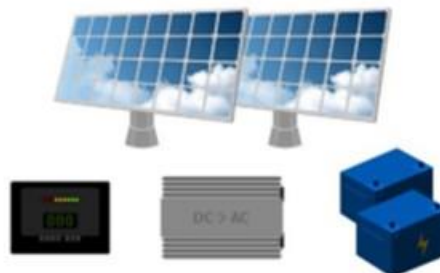
Gráficos 2 y 3 – Vista frontal y área de su instalación solar
Instalación aislada



Tabla 1: Tamaño de su instalación FV:

Componente	#	Notas
Paneles solares FV	4	Referencia Yingli Solar
Potencia por panel	250	Wattios pico (Wp)
Potencia instalada	1,00	Kilovatios (Kw)
Área utilizada	8,94	m ²
Irradiación anual	1.642,5	Kwh / m ²
Producción anual de la instalación FV	1.386	Kwh / 1er año
Inversor	1	Referencia Infi
Baterías	4	Referencia Kaise (Autonomía 2 días)
Controlador	1	Referencia Infi
Soportes paneles	1	Jungo

La función de un panel solar es captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica continua. Debido a que el panel es productivo durante el día, no en la noche, se hace entonces necesaria una batería que acumule la energía FV en el día para permitir el consumo durante la noche.





La energía producida por el panel debe controlarse mediante un controlador para cargar la batería y permitir el consumo, previniendo la sobrecarga y la descarga excesiva de la misma. Adicionalmente es necesario un inversor que transforma la energía continua acumulada en la batería en corriente alterna (AC) con la cual funcionan la mayoría de aparatos eléctricos.

Los anteriores componentes del sistema fotovoltaico, han sido calculados de acuerdo con el siguiente cuadro de cargas o consumos.

Gráfico 4 – Consumo y producción de electricidad (Kwh/Años)

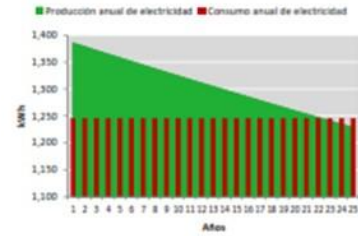


Tabla 2: Cuadro de cargas de su instalación FV:

Cargas	Descripción	Cantidad	Potencia (w)	Tipo operación (h/día)
AC	TV	1	55	5,0
AC	Nevera	1	160	12,0
AC	Bombillo led	3	10	4,0
AC	Bombillo led	2	10	7,0
AC	Ventilador Turbo	1	100	8,0
AC	Toma Corriente	1	70	2,0
AC	Cargador Celular	4	4,83	1,0
Total	Consumo anual estimado			1.240,0 Kwh / año

Términos económicos

El precio de venta de la solución FV que le detallamos es de \$13.000.000 pesos (IVA no incluido). La inversión FV le dará acceso a beneficios económicos y fiscales gracias a la ley 1715 de mayo del 2014, como por ejemplo la exclusión del IVA y la aplicación del método de depreciación acelerada (o deducción al impuesto de la renta para las personas naturales). Para más información ver el apéndice A.

Tabla 3: Desglose de costos de su instalación FV:

Costo básico	\$	13.000.000
Costo de extras	\$	0
Costo total	\$	13.000.000
Costo total unitario	\$/Wp	13.000,0

El precio final incluye componentes y mano de obra para el ensamblaje. El precio no incluye el costo de transporte si el lugar de la instalación es diferente de la zona urbana de la ciudad de Bogotá y tampoco el costo de instalación. Si desea que América Fotovoltaica se haga cargo de la instalación no dude en consultarnos y con gusto le atendemos.

ANEXO 3. SIMULACION PVSYSY

PVSYSY V6.44		09/06/16		Página 1/5	
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación					
Proyecto : San roque 2					
Lugar geográfico		San roque		País Colombia	
Ubicación		Latitud 3.9°N		Longitud 75.3°W	
Hora definido como		Hora Legal Huso hor. UT-5		Altitud 513 m	
Datos climatológicos:		San roque		MeteoNorm 7.1 - Síntesis	
Variante de simulación : Nueva variante de simulación					
Fecha de simulación 09/06/16 00h54					
Parámetros de la simulación					
Orientación Plano Receptor		Inclinación 30°		Acimut 20°	
Modelos empleados		Transposición Perez		Difuso Perez, Meteonorm	
Características generador FV					
Módulo FV		Si-poly Modelo T SM-320PEG14			
Original PVSyst database		Fabricante Trina Solar			
Número de módulos FV		En serie 4 módulos		En paralelo 2 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos 8		Prom unitaria 320 Wp	
Potencia global generador		Nominal (STC) 2560 Wp		En cond. funciona. 2296 Wp (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp 133 V		I mpp 17 A	
Superficie total		Superficie módulos 15.7 m²		Superf. célula 14.0 m²	
Factores de pérdida Generador FV					
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const) 20.0 W/m²K		Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador 130 mOhm		Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC	
Pérdida Diodos en Serie		Caída de Tensión 0.7 V		Fracción de Pérdidas 0.5 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas -0.4 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Parám. bo 0.05	
Parámetro del Sistema					
Tipo de sistema		Sistema Aislado			
Batería		Modelo Solar S12/6.6 S			
Características del banco de baterías		Fabricante Sonnenschein		Capacidad Nominal 403 Ah	
		Tensión 108 V			
		N° de unidades 9 en serie x 79 en paralelo			
		Temperatura Temperatura exterior ambiente			
Controller		Modelo Universal controller with MPPT converter			
		Tecnología MPPT converter		Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.	
Convertidor		Eficiencias Máx. y EURO 97.0/95.0 %			
Battery management control		Threshold commands as		SOC calculation	
		Carga SOC = 0.90/0.75		i.e. approx. 320.3/112.8 V	
		Descarga SOC = 0.20/0.45		i.e. approx. 84.5/109.9 V	
Necesidades de los usuarios : Cons. domésticos diarios					
media 5.4 kWh/Día Constante durante el año					

PVSYST V6.44		09/06/16	Página 2/5																																																				
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario																																																							
Proyecto : San roque 2																																																							
Variante de simulación : Nueva variante de simulación																																																							
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Aislado																																																					
Orientación Campos FV	inclinación	30°	acimut 20°																																																				
Módulos FV	Modelo	TSM-320PEG14	Pnom 320 Wp																																																				
Generador FV	N° de módulos	8	Pnom total 2560 Wp																																																				
Batería	Modelo	Solar S12/6.6 S	Tecnología errada, Gel																																																				
banco de baterías	N° de unidades	711	Tensión/Capacidad 108 V / 403 Ah																																																				
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 1956 kWh/año																																																				
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 5.4 kWh/día																																																							
Valores anuales																																																							
	Número	Potencia	Utilización	Energía																																																			
T.V	1	55 W/lámpara	5 h/día	275 Wh/día																																																			
Nevera	1	160 W/art.	24 h/día	3840 Wh/día																																																			
bombillo interior	3	10 W/art.	4 h/día	120 Wh/día																																																			
bombillo exterior	2		7 Wh/día	140 Wh/día																																																			
ventilador	1		8 Wh/día	800 Wh/día																																																			
tomacorriente	1	70 W total	2 h/día	140 Wh/día																																																			
cargador celular	4	5 W total	1 h/día	20 Wh/día																																																			
Consumidores en espera			24 h/día	24 Wh/día																																																			
Energía total diaria				5359 Wh/día																																																			
Perfil por hora																																																							
<table border="1"> <caption>Data for Perfil por hora (Estimated values)</caption> <thead> <tr> <th>Hour</th> <th>Fraction of daily energy [Wh/día]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>250</td></tr> <tr><td>1</td><td>250</td></tr> <tr><td>2</td><td>250</td></tr> <tr><td>3</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>250</td></tr> <tr><td>5</td><td>250</td></tr> <tr><td>6</td><td>250</td></tr> <tr><td>7</td><td>250</td></tr> <tr><td>8</td><td>250</td></tr> <tr><td>9</td><td>150</td></tr> <tr><td>10</td><td>150</td></tr> <tr><td>11</td><td>150</td></tr> <tr><td>12</td><td>150</td></tr> <tr><td>13</td><td>150</td></tr> <tr><td>14</td><td>150</td></tr> <tr><td>15</td><td>150</td></tr> <tr><td>16</td><td>150</td></tr> <tr><td>17</td><td>150</td></tr> <tr><td>18</td><td>150</td></tr> <tr><td>19</td><td>250</td></tr> <tr><td>20</td><td>250</td></tr> <tr><td>21</td><td>350</td></tr> <tr><td>22</td><td>250</td></tr> <tr><td>23</td><td>250</td></tr> <tr><td>24</td><td>250</td></tr> </tbody> </table>				Hour	Fraction of daily energy [Wh/día]	0	250	1	250	2	250	3	250	4	250	5	250	6	250	7	250	8	250	9	150	10	150	11	150	12	150	13	150	14	150	15	150	16	150	17	150	18	150	19	250	20	250	21	350	22	250	23	250	24	250
Hour	Fraction of daily energy [Wh/día]																																																						
0	250																																																						
1	250																																																						
2	250																																																						
3	250																																																						
4	250																																																						
5	250																																																						
6	250																																																						
7	250																																																						
8	250																																																						
9	150																																																						
10	150																																																						
11	150																																																						
12	150																																																						
13	150																																																						
14	150																																																						
15	150																																																						
16	150																																																						
17	150																																																						
18	150																																																						
19	250																																																						
20	250																																																						
21	350																																																						
22	250																																																						
23	250																																																						
24	250																																																						
<small>Traducción sin garantía, sólo el texto inglés será garantizado.</small>																																																							

